



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

ÚPRAVA PROCESU ČIŠTĚNÍ DPS PO ODSTRANĚNÍ BGA KOMPONENT

MODIFICATION OF PCB CLEANING PROCESS AFTER REMOVING BGA
COMPONENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Adam Procházka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michal Řezníček, Ph.D.

BRNO 2019

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor Elektronika a sdělovací technika

Ústav radioelektroniky

Student: Adam Procházka

ID: 173731

Ročník: 3

Akademický rok: 2018/19

NÁZEV TÉMATU:

Úprava procesu čištění DPS po odstranění BGA komponent

POKyny PRO VYPRACOVÁNÍ:

Proveďte rešerši vlastností vybraných druhů bezolovnatých pájecích slitin. Prostudujte možnosti čištění plošek DPS od zbytků cínu v případě výměny vybraných komponent (především konektorů). Prostudujte vliv změny pájecí slitiny SAC 305 za slitinu Sn42Bi57Ag1 při znovu osazení vyměňované komponenty. Proveďte reálné pokusy u případu výměny konektorů. Navrhněte pro tyto pokusy sérii testů a topologii testovacích substrátů. Výsledky detailně popište a zdokumentujte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] SZENDIUCH, I.: Mikroelektronické montážní technologie, Nakladatelství VUTIUM, Brno, 1997, ISBN 80-21--0901-0.

[2] SZENDIUCH, I.: Technologie elektronických obvodů a systémů, Nakladatelství VUTIUM, Brno, 2002, ISBN 80-214-2072-3.

Termín zadání: 4.2.2019

Termín odevzdání: 23.5.2019

Vedoucí práce: Ing. Michal Řezníček, Ph.D.

Konzultant:

**prof. Ing. Tomáš Kratochvíl,
Ph.D.**

předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Vysoké učení technické v Brně / Technická 3058/10 / 616 00 / Brno

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá úpravou procesu čištění DPS po odstranění BGA komponent. V úvodní části práce je shrnuto zadání a myšlenka celé práce. První část teoreticky pojednává o druzích pájení, o typech pájek a o procesu reworku. Ve druhé kapitole je podrobně rozepsán celý proces praktické práce, od návrhu testovací desky, přes osazení, zapájení a následné testy. Dále jsou zde také vysvětleny praktické testy na konektorech. Ve třetí kapitole je pak zmíněno testování desek teplotním cyklováním. Čtvrtá kapitola obsahuje shrnutí výsledků porovnání jednotlivých past a závěr.

KLÍČOVÁ SLOVA

Bezolovnatá pájecí pasta, bismutová pájecí pasta, cyklování, konektory, návrh, osazení, pájení, pájka, rework, ruční čištění, síla odtrhu, teplota.

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the modification of DPS cleaning process after the removal of BGA components. The thesis is divided into five main parts including the introduction and conclusion. The introduction comprises an assignment and aim of the thesis. The first, theoretical, part then deals with different kinds of soldering, individual types of solders and the rework process itself. The second part examines the whole practical part in detail, from the proposal of the test printed circuit board to its mounting, soldering and subsequent testing. Also, it explains the practical tests for connectors. The third part then describes the board testing by thermal cycling. The last part consists of the summary of results, a comparison of individual soldering pastes and conclusion.

KEYWORDS

Bismuth solder paste, connectors, cycling, design, lead-free solder paste, manual cleaning, mounting, rework, soldering, solder, tear strength, temperature

PROCHÁZKA, Adam. *Úprava procesu čištění DPS po odstranění BGA komponent*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/119343>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky. Vedoucí práce Michal Řezníček.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma úprava procesu čištění DPS po odstranění BGA komponent jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Michalovi Řezníčkovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou, odbornou a přátelskou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

OBSAH

Abstrakt	3
Klíčová slova	3
Abstract	3
Keywords	3
Prohlášení	v
Poděkování	v
Obsah	vi
Seznam obrázků	ix
Seznam tabulek	xi
1 Pájení	12
1.1 Pájení.....	12
1.1.1 Pájení přetavením.....	12
1.1.2 Pájení vlnou.....	14
1.2 Pájky.....	15
1.2.1 Měkké pájky.....	15
1.2.2 Tvrdé pájky	16
1.2.3 Olovnaté pájky	16
1.2.4 Bezolovnaté pájky.....	17
1.2.5 Speciální pájky	20
1.2.6 Použité pájky.....	21
1.1 Rework	22
1.1.1 Co znamená rework, proč se dělá a jak.	22
2. Praktická část – první polovina desek	23
2.1 Návrh desky	23
2.1.1 Návrh v Eaglu	23
2.1.2 Výroba desek.....	24
2.1.3 Rozměry.....	24
2.2 Osazení desky, pájení, kontrola	26

2.2.1	Nanesení pasty	26
2.2.2	Osazení rezistorů.....	29
2.2.3	Zapájení rezistorů.....	30
2.2.4	Kontrola zapájení.....	31
2.2.5	Oprava chyb po pájení	33
2.2.6	Rework proces.....	33
2.3	Zkouška stříhem.....	36
2.3.1	Nastavení přístroje	37
2.3.2	Postup testování	38
2.3.3	Zhodnocení výsledků trhání.....	39
2.3.4	Série desek s pastou SAC305	40
2.3.5	Série desek s bismutovou pastou	41
2.3.6	Série desek, původně s pastou SAC305 poté s bismutovou	42
2.3.7	Série desek se směsí pasty SAC305 a bismutové	43
2.4	Práce na konektorech	44
2.4.1	Odstanění konektorů za použití horkého vzduchu.	45
2.4.2	Čištění kontaktů	46
2.4.3	Znovuosazení desky.....	48
2.5	Zkouška stříhem na konektorech	49
2.6	Výbrus	50
2.6.1	Postup výbrusu.....	50
3.	Teplotní cyklování – druhá polovina desek	52
3.1	Postup cyklování	52
3.1.1	Výroba držáků.....	52
3.1.2	Nastavení průběhu.....	53
3.1.3	Zkouška stříhem na deskách po teplotním cyklování	53
3.1.4	Série desek s pastou SAC305 po teplotním cyklování	54
3.1.5	Série desek s bismutovou pastou po teplotním cyklování	55
3.1.6	Série desek původně s pastou SAC305 a poté s bismutovou pastou po teplotním cyklování.....	56
3.1.7	Série desek se směsí SAC305 a Sn42Bi57Ag1 po teplotním cyklu ...	58
4.	Vyhodnocení a závěr	59
4.1	Zkoumání past pod mikroskopem.....	59

4.1.1	Běžný mikroskop	59
4.1.2	Elektronový mikroskop.....	61
4.1.3	Statistická data - grafy.....	63
4.2	Vyhodnocení	65
4.3	Závěr	66
Literatura		67
Seznam symbolů, veličin a zkratk		69

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1-1 Teplotní profil pasty SAC305. [13].....	14
Obr. 1-2 Tabulka používaných pájek. [5]	18
Obr. 1-3 Teoretický příklad tombstoningu. [17].....	19
Obr. 1-4 Whiskery na kontaktních pinech. [4]	19
Obr. 1-5 Whiskery na spojích SMD odporech. [4]	20
Obr. 2-1 Návrh tištěného spoje v Eagle	24
Obr. 2-2 Úchyt na desku	25
Obr. 2-3 Stolek pro uchycení šablony.....	25
Obr. 2-4 Použitá šablona	25
Obr. 2-5 Šablona s nanesenou pájecí pastou.....	26
Obr. 2-6 Rozdíl mezi deskou s pastou a bez pasty	27
Obr. 2-7 Míchání past a rozdíl mezi nimi	28
Obr. 2-8 Osazovací nástroj.....	29
Obr. 2-9 Desky osazené rezistory, připravené na zapájení	30
Obr. 2-10 Nastavení teplotního profilu pro pastu SAC305	30
Obr. 2-11 Nastavení teplotního profilu pro pastu Sn42Bi57Ag1	31
Obr. 2-12 Desky položené podélně.....	32
Obr. 2-13 Desky položené příčně	32
Obr. 2-14 Chyby na deskách po zapájení, tombstone	32
Obr. 2-15 Deska uchycená v držácích, se zbytkovou pájkou	34
Obr. 2-16 Deska očištěná od pájky, ale se zbytkovým tavidlem	35
Obr. 2-17 Porovnání směru natočení trhací hlavy [14].....	36
Obr. 2-18 Porovnání výšky trhacího hrotu [14].....	37
Obr. 2-19 Přístroj PC 2400 od firmy Dage pro zkoušku stříhem	38
Obr. 2-20 Deska po odtrhnutí rezistoru	39
Obr. 2-21 Konektor na desce, který se bude odstraňovat	44
Obr. 2-22 Místo zahřívání.....	45
Obr. 2-23 Pájecí plošky se zbytkovým cínem po odpájení konektoru	46
Obr. 2-24 Detail očištěných pájecích plošek	47
Obr. 2-25 Nanesená pájecí pasta na kontaktech	49

Obr. 2-26 zařízení pro výbrus	50
Obr. 3-1 Zavěšené držáky s deskami	52
Obr. 3-2 Nastavený průběh teplotního cyklování	53
Obr. 3-3 Deska s kontakty po spálené pastě	56
Obr. 4-1 Pasta SAC305 po teplotním cyklování	59
Obr. 4-2 Pasta SAC305 bez teplotního cyklování	59
Obr. 4-3 Pasta Sn42Bi57Ag1 po teplotním cyklování	59
Obr. 4-4 Pasta Sn42Bi57Ag1 bez teplotního cyklování	59
Obr. 4-5 Pasta SAC305 → Sn42Bi57Ag1 po teplotním cyklování	60
Obr. 4-6 Pasta SAC305 → Sn42Bi57Ag1 bez teplotního cyklování	60
Obr. 4-7 Směs past SAC305 + Sn42Bi57Ag1 po teplotním cyklování	60
Obr. 4-8 Směs past SAC305 + Sn42Bi57Ag1 bez teplotního cyklování	60
Obr. 4-9 Pasta SAC305, makro pohled	61
Obr. 4-10 Pasta SAC305, složení spoje	61
Obr. 4-11 Pasta Sn42Bi57Ag1, makro pohled	62
Obr. 4-12 Pasta Sn42Bi57Ag1, složení spoje	62
Obr. 4-13 Pasta SAC305 → Sn42Bi57Ag1, makro pohled	62
Obr. 4-14 Pasta SAC305 → Sn42Bi57Ag1, složení spoje	62
Obr. 4-15 Směs SAC305 + Sn42Bi57Ag1, makro pohled	63
Obr. 4-16 Směs SAC305 + Sn42Bi57Ag1, složení spoje	63
Obr. 4-17 Statistický graf mechanické síly pro desky bez teplotního cyklu.	64
Obr. 4-18 Statistický graf mechanické síly pro desky po teplotním cyklu.	64

SEZNAM TABULEK

Tab. 1-1 Speciální typy pájek [17].....	20
Tab. 1-2 Porovnání použitých past SAC305 a Bismutové	21
Tab. 2-1 Naměřené hodnoty pro pastu SAC305	40
Tab. 2-2 Naměřené hodnoty pro pastu Sn42Bi57Ag1	41
Tab. 2-3 Naměřené hodnoty pro pastu SAC305 a poté Sn42Bi57Ag1	42
Tab. 2-4 Naměřené hodnoty pro směs past SAC305 + Sn42Bi57Ag1	43
Tab. 3-1 Naměřené hodnoty pro pastu SAC305, po teplotním cyklování.....	54
Tab. 3-2 Naměřené hodnoty pro bismutovou pastu, po teplotním cyklování.....	55
Tab. 3-3 Naměřené hodnoty pro pastu SAC305 a poté Sn42Bi57Ag1, po teplotním cyklování	57
Tab. 3-4 Naměřené hodnoty pro směs past SAC305 + Sn42Bi57Ag1, po teplotním cyklování	58

1 PÁJENÍ

V této kapitole je základní popis pájení a pájek používaných v elektronice, je zde popsáno jejich složení, použití, výhody a nevýhody.

1.1 Pájení

Pájení je základní metoda spojení součástek a komponentů v elektronice. Je to proces, při kterém se dvě pevné části (ploška na desce a součástka) spojí za pomoci třetího přídavného materiálu, pájky s nižší teplotou tavení než součásti, které se mají spojit. Pájka může mít různé formy. Při ručním pájení se nejčastěji používá v podobě dutého drátu, uvnitř kterého je tavidlo. Tento drát se přiloží do místa budoucího spoje a pomocí ruční páječky se pájka přetaví. Při strojovém nebo horkovzdušném pájení (pájení v peci) se používají pájecí pasty. Ať použijeme libovolný proces pájení a libovolnou formu pájky, proces pájení je vždy stejný. Tedy, že se pájka musí roztavit, tím zateče do mezer mezi součástkou a ploškou na desce, spojí hranu součástky s ploškou a po zatuhnutí je tímto vodivě a mechanicky spojí. Tavidlo tomuto procesu napomáhá, pomáhá lepšímu přilnutí pájky k plošce a součástce. Účel tavidla spočívá kromě podpory smáčení také v odstranění oxidů a ostatních nečistot ze spojovaných povrchů. Kombinace základní schopnosti tavidla čistit povrchy a času, který určuje aktivitu během pájecích teplot, tedy jeho stabilitu, se nazývá účinnost tavidla.

1.1.1 Pájení přetavením

Pájení přetavením je jedno z nejpoužívanějších v průmyslovém pájení SMD součástek. Jeho hlavní výhody jsou jednoduchost a rychlost. Pájení přetavením používá opačný postup, než je tomu u ručního pájení nebo u pájení vlnou. U pájení přetavením se nejdříve nanese pájecí pasta na kontakty desky a poté se působením tepla pasta roztaví a spojované části spojí. Proces pájení přetavením nevyžaduje žádné zvláštní postupy proti vniknutí tavidla do součástek. Z důvodu vyšší ceny pájecích past se pájení přetavením používá především u technologicky náročnějších elektronických zařízení. Proces pájení probíhá ve třech jednoduchých krocích. První krok je nanesení pasty na kontaktní plošky desky pomocí předem připravené šablony. Druhý krok je osazení součástek do pájecí pasty. Třetí krok je pak samotné pájení v peci. Pro pájení přetavením existuje několik různých způsobů. Zde jsou 3 nejpoužívanější.

- Pájení v parách - nejstarší způsob, vyvinutý již začátkem 70. let. V podstatě se jedná o kovový válec, na jehož dně je kapalina, která se zahřívá na bod varu. Plošina s deskami plošných spojů se ponoří do válce nad kapalinu do místa odpařování. Teplo páry, která je vyšší než teplo potřebné pro roztavení pájky, se přenáší na desku a na součástky a zahřívá je na teplotu pájení. Tím vznikne pájený spoj.

- Přetavení pomocí infračerveného světla - deska plošných spojů se součástkami je ozařována zářičem infračerveného světla. Nejčastěji se používá wolframový zářič. IR světlo při průchodu deskou zanechává svoji energii a tím desku zahřívá. Po dosažení potřebné teploty se pasta roztaví a vznikne spoj.
- Nucené proudění - hlavní zdroj tepla zahřívá své okolí a díky ventilátorům, které vhánějí ohřátý vzduch do pece, se deska dostává do zóny tepla a může proběhnout proces přetavení pájky. Tento způsob je použitý v této práci. Existují dva základní druhy pecí.

Vsázkové pece jsou používány především pro vývoj a zkoumání desek v laboratořích nebo v podnicích s malou výrobní kapacitou. Jejich výhoda spočívá v tom, že tyto pece mají menší rozměry a menší cenu. Naopak nevýhody je, že v tomto typu pecí se hůře nastavují provozní podmínky a parametry, také se zde používá jednodušší způsob ohřevu a následného chlazení, dále si tyto pece vyžadují zvýšenou pozornost personálu obsluhujícího pec. Kvůli tomu to se výroba prodlužuje, a je tedy pomalá.

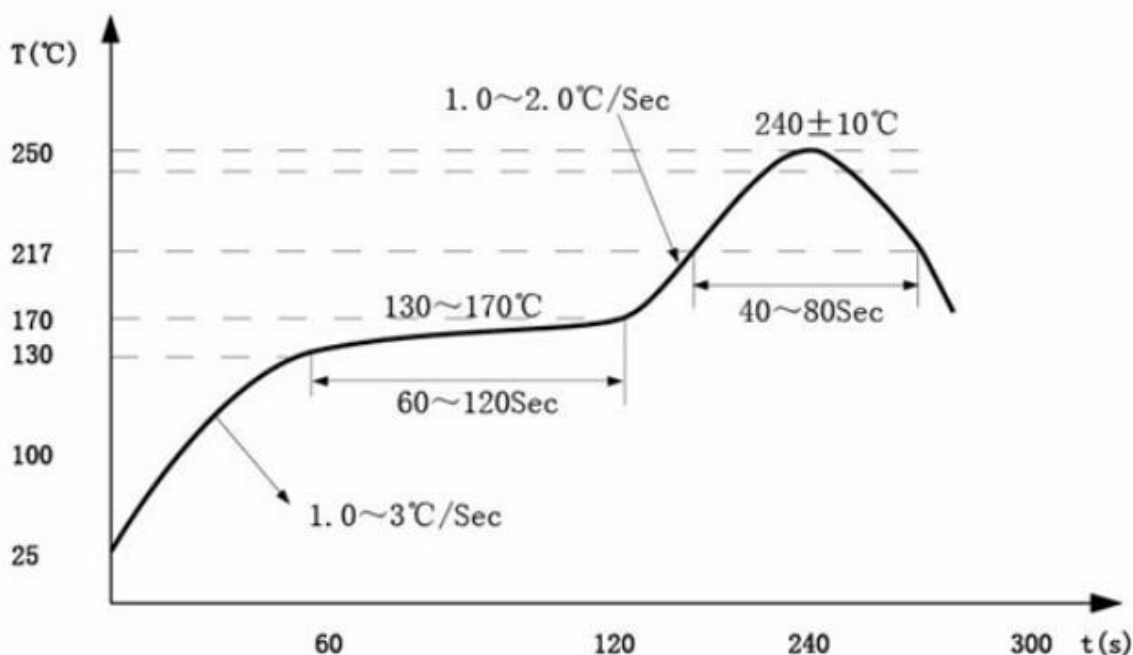
In-line pece se používají především pro výrobní linky ve velkovýrobních podnicích. Rozměry těchto pecí jsou ve srovnání se vsázkovými větší, stejně tak jejich cena. Ale na rozdíl od vsázkových pracují rychleji. Díky vhodným nastavením podmínek a parametrů je jejich práce kvalitnější a nepotřebují takovou pozornost personálu, jsou tedy automatizované.

Je-li nanesená pasta a osazené součástky, je čas na samotné přetavení v peci. To se provádí díky teplotnímu profilu, který je různý pro různé druhy pájecích past nebo také pro různé desky. I dvě různé desky se stejnou pastou mají různé teplotní profily. Záleží na složitosti desky, na součástkách a substrátu desky. Teplotní profil znázorňuje, jak se mění teploty během procesu pájení. Při procesu pájení není důležitá pouze teplota tání pájky, tedy teplota, kdy se z pevné pájky stává kapalná, ale důležitá je i doba ohřátí desky z běžné pokojové teploty na teplotu tání pájky. Neméně důležitá je i doba chlazení desky po přetavení pájky. Tyto teploty a doby jejich působení určují výslednou kvalitu pájeného spoje a také životnost celé desky.

V teplotním profilu na obrázku 1-1 se nastavují 3 základní parametry: doba přehřevu, teplota přetavení a chlazení.

1. Doba přehřevu: v této fázi dochází k postupnému ohřevu desky plošného spoje z pokojové teploty, aby při přetavení nedošlo k teplotnímu šoku a následnému poškození desky. S rostoucí teplotou dochází k rozpouštění tavidla, které je součástí pájecí pasty, také se odstraňují případné nečistoty z povrchu desky a plošky, to má za následek lepší smáčivost povrchů. Teplotní nárůst nesmí být příliš strmý, protože může dojít k různým poruchám jak na povrchu desky, tak uvnitř. Příliš velkým nárůstem teploty může také dojít ke změkčení pevných látek a pasta má poté zhoršenou smáčivost, což má za následek posunutí součástek, vznik kuliček nebo můstku. Ideální teplotní nárůst by měl být přibližně o 2-3°C/s.

2. Oblast přetavení: v této oblasti je teplota zvýšena přibližně o 40°C nad teplotu tání pájecí pasty. V případě příliš nízkých teplot, není deska plošných spojů dostatečně prohřátá a pájecí pasta se přetavuje nesprávně. Maximální teplota představuje teplotu, která se nesmí překročit. V případě překročení maximální teploty, může docházet k deformaci desky i součástek. Teplotní rozdíl mezi kapalnou pájkou a maximální teplotou by měl být co nejmenší. Obvykle trvá doba přetavení 30 - 90 sekund záleží na typu pece. Po překročení této doby mohou na desce i na součástkách vznikat chyby.
3. Chlazení: v této fázi dochází k postupnému ochlazení desky plošného spoje a součástek na ní. Většinou se používají odsávací trysky nebo ventilátory k odvodu teplého vzduchu. Chlazení by mělo být alespoň 4°C/s, ne však více jak 6°C/s. V případě nesprávného chlazení může také dojít k mikropřasklinám uvnitř desky, což ovlivňuje její životnost. V případě dodržení správné doby chlazení se zvyšuje životnost spoje a nedochází k poškození desky.



Obr. 1-1 Teplotní profil pasty SAC305. [13]

1.1.2 Pájení vlnou

Pájení vlnou byla historicky první metoda hromadného strojového pájení. Na rozdíl od dřívějších způsobů zvýšilo kvalitu a spolehlivost spoje a také snížilo nutný počet pracovních sil. Pájení na vlně se využívá jak v SMT montáži, tak v klasické nebo smíšené. Plošné spoje, které mohou být vlnou zpracovány, jsou jednovrstvé, vícevrstvé a ohebné.

Pájení vlnou lze rozdělit na tři fáze.

1. První omezuje vliv oxidů, které jsou přítomny na povrchu cínové lázně.
2. Druhou fází je přehřev desky plošných spojů. Deska se zahřívá na teplotu přibližně 100°C. Tento proces musí proběhnout, jinak by mohlo dojít k nežádoucímu tepelnému šoku při kontaktu desky a roztavené pájky.
3. Třetí fáze je vlastní pájení. To probíhá tak, že se pomocí roztavené pájky, která je vedena z nádrže pomocí trysek, zformuje do požadovaného tvaru, poté je nad vlnu pomocí přepravníkového pásu přistavena deska a vlnou jsou spojeny vodivé kontakty na desce a součástka.

1.2 Pájky

Pájka je slitina kovů, která se při určité teplotě roztaje. Je určena k pevnému spojení materiálů především v elektronice, kontaktní plošky na desce plošného spoje a součástky. Pájka slouží k pevnému mechanickému a elektricky vodivému spojení dvou pevných částí. Toto spojení však nemusí být trvalé, jako tomu je u sváření. Ale existují pracovní postupy, pomocí kterých se dá součástka z desky odpájet. Při tomto procesu ovšem dochází k opotřebení jak součástek, které se většinou již znovu nepoužívají, tak i k opotřebení desky a plošky na ní. Pájky jsou děleny podle několika kategorií, a to sice na měkké pájky, mající upotřebení především v elektronice, které se dále dělí na olovnaté, bezolovnaté, nebo tvrdé pájky. Tvrdé pájky jsou především používány pro spojení částí pod velkou mechanickou námahou.

Pájecí pasty jsou směsi skládající se z odpovídající práškové pájky - slitiny, tavidla ve formě gelu a dalších modifikátorů. Právě díky pastovité povaze směsi se používá ve většině výrobních procesů, protože umožňuje nanést na desku definované množství pasty, a tím zajišťuje reprodukovatelnost. Pro nanášení pasty na desku plošného spoje se používá dispensní nebo šablonový tisk.

1.2.1 Měkké pájky

Měkké pájky jsou slitiny měkkých kovů s různými poměry, které mají různé vlastnosti. Nejpoužívanější jsou slitiny cínu, olova, kadmia, zinku, stříbra nebo bismutu. Charakteristické pro měkké pájky je jejich teplota tavení, která je nižší než 450°C. Využívají se především pro elektroniku, tedy pro místa, která obvykle nejsou příliš mechanicky nebo teplotně namáhána, ale je u nich vyžadováno vodivé spojení s minimem parazitních jevů, jako jsou parazitní odpor, kapacita nebo indukčnost. Měkké pájky jsou dále rozlišeny podle složení (olovnaté, bezolovnaté, speciální) a jejich formy pro cílovou aplikaci.

- pájecí drát, který bývá většinou dutý a obsahuje tavidlo, tato forma se většinou využívá u ručního pájení.
- pájecí pasta, která obsahuje částičky kovů v koncentraci 65 - 96% a tavidlo, pasty se většinou používají u pájení přetavením v peci.

Největšími zástupci měkkých pájek jsou pájky cínové, tedy pájky, jejichž největší objem tvoří cín. Cínové pájky mají většinou rozsah teplot od 185 - 260°C záleží na přesném poměru cínu a dalších kovů. Existují však také měkké pájky, které mají teplotu tání až do 400°C většinou to bývají slitiny pájky, do kterých je přidán speciální kov kadmium nebo zinek. V České republice platí norma ČSN EN ISO 9453 *Slitiny pro měkké pájení - Chemické složení a tvary*.

1.2.2 Tvrdé pájky

Tvrdé pájky jsou nejčastěji slitiny mědi, cínu, stříbra, zinku, mosazi nebo hliníku. Jsou charakteristické tím, že jejich teplota tání je nad 450°C. Užívají se v oblastech vysokého mechanického nebo tepelného namáhání nebo ke spojení oceli a šedé litiny. Pájení je prováděno autogenem, kde se nejprve obě spojované části zahřejí na požadovanou teplotu, následně se pájka nahřeje a ponoří se do nádoby s bílým práškem boraxem. Poté se nad rozpáleným spojem pájka nahřeje plamenem, to má za následek, že mosaz začne téct na zahřáté části, a tím je pevně spojí. Tvrdé pájení se dá provádět pro pájení pod tavidlem, ve vakuu nebo v redukční atmosféře. Pro pájení ve vakuu se používají spíše čisté kovy stříbro, měď, zlato nebo paladium. Pro pájení v redukční atmosféře se vyrábí velké množství slitin s vyšší teplotou tavení, nejčastěji slitiny mědi, stříbra, kadmia, niklu nebo zinku. Tvrdé pájky se také dají použít pro pájení na keramiku nebo grafit, a to sice aktivními pájkami, které obsahují malý poměr titanu nebo vanadia.

1.2.3 Olovnaté pájky

Olovnaté pájky se používají především pro své skvělé elektrické i mechanické vlastnosti. Jedna z nejpoužívanějších byla pájka Sn63Pb37, která měla teplotu tání 183°C nebo pájka Sn40Pb60 s teplotou tání 220°C. 1. 7. 2006 vešlo v platnost nařízení RoHS Evropské unie, které nařizovalo, že se v Evropské unii nesmí prodávat výrobky, které obsahují určité množství nebezpečných, jedovatých látek, mezi nimi byl i těžký kov olovo, který do té doby neodmyslitelně patřil v kombinaci s cínem k jedné z nejlepších pájek. Podle nařízení nesmí komerční elektronické zařízení v Evropské unii obsahovat více než 0,1% olova. Tento zákaz vyžadoval velké investice do vývoje bezolovnatých past a pájecích procesů, aby bezolovnaté pájky měly alespoň podobné vlastnosti jako olovnaté pájky. Přestože jsou olovnaté pájky zakázané, existují díky svým známým vlastnostem výjimky pro odvětví lékařství, kosmonautiky nebo vojenství, kde se stále olovnaté pájky používají. To je zapříčiněno tím, že bezolovnaté pájky vystřídal olovnaté teprve před 13 lety a ještě nejsou známy jejich kvality v zařízeních, které se používají dlouhodobě, a je na ně kladen vysoký nárok spolehlivosti, jako jsou právě již zmiňovaná odvětví. 1. 3. 2018 vešel v platnost další zákaz Evropské unie prodávat olovo a jeho slitiny široké veřejnosti.

1.2.4 Bezolovnaté pájky

Bezolovnaté pájky vznikly jako reakce na zákaz používání olova v rámci Evropské unie. Díky nutnosti nahrazení olova se kromě zhoršených vlastností pájených spojů zvedly i výrobní náklady, protože se olovo začalo nahrazovat drahými kovy. Průměrná cena se zvedla a byla 1,5x - 3x dražší než olovnatá pájka SnPb. Obsah cínu v bezolovnaté pájce musí být minimálně 60%, zbylá část je pak tvořena kovy, jako jsou měď, bismut, germanium, zinek a stříbro. Cena je tedy určena podle obsahu jednotlivých drahých kovů a jejich dostupnosti. Dostupnost a cena každého prvku pájky je určována velikostí jeho světových zásob. Dnes již je na trhu velké množství bezolovnatých pájek, ale žádná nemá způsob použití shodný s olovnatou pájkou SnPb. Jeden ze zásadních rozdílů je bod tavení pájkové slitiny, který je obvykle vyšší než bývalo 183°C pro Sn63Pb37, u bezolovnatých pájek je bod tavení od 195 - 227°C, přesná teplota tavení závisí na jejich konkrétním složení. Pro tyto pájky je lepší použít i jiné tavidlo, než které se používalo pro olovnaté pájky, a to sice tavidlo na bázi vody s vyšší aktivační teplotou. Další, co se muselo upravit, byl proces pájení, především pak pájení přetavením v průtahové peci, které se musely upravit tak, aby fungovaly s větší přesností nastavení teplot. U bezolovnatých pájek je také nižší procesní okno oproti olovnatým pájkám. Procesní nebo také technologické okno je rozdíl v rozsahu teplot, který je vhodný pro vznik dobrého pájeného spoje (liší se od typu pasty). Je dán dvěma mezemi

1. teplota tavení slitiny + energie nutná k dostatečnému prohřátí spoje
2. maximální teplota, při které ještě nedochází k poškození pájené sestavy.

Jelikož mají obecně bezolovnaté pájecí slitiny vyšší teplotu přetavení, je jejich technologické okno menší a užší. Protože proces přetavení bezolovnaté pájky probíhá v užším rozsahu teplot. Bezolovnaté pájky jsou mnohem náročnější na udržení teploty a přítomnost správného tavidla. Výrobci také doporučují pájení v ochranné atmosféře při použití dusíku, díky tomu se redukuje oxidace pájeného spoje.

Jedna z nejznámějších a nejpoužívanějších bezolovnatých past je SAC305, tedy Sn96,5Ag3Cu0,5 s teplotou tání 218°C.

Na obrázku 1-2 je tabulka, na kterém můžeme porovnat některé z nejpoužívanějších bezolovnatých pájek.

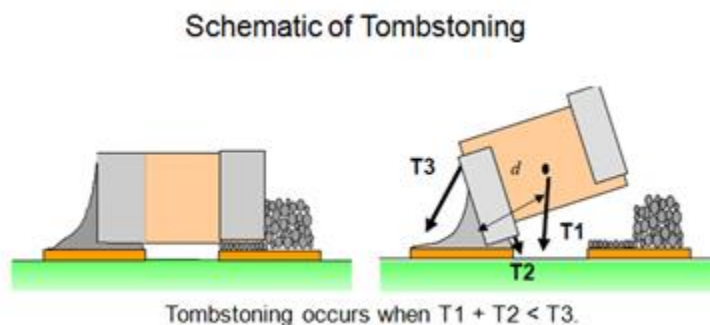
Oblast tavení (°C)	Pájka	Využití v průmyslu	Společnost
Slitiny s vysokým bodem tavení (>210°C)			
227	Sn/Cu	Spotřebitelský Telekomunikace	Panasonic 3) Nortel
221	Sn/Ag *		
217	Sn/Ag/Cu	Automobilový Telekomunikace	Panasonic 2) Nokia, Nortel, Panasonic Toshiba
217	Sn/Ag/Cu/Sb *		
	Sn/In/Ag *		
	Sn/Ag/Cu/Zn *		
	Sn/Ag/Bi/Cu	Vojenský/Letecký	Panasonic
	Sn/Ag/Bi/Cu/Ge	Spotřebitelský	Sony
Slitiny s bodem tavení v rozsahu 180-210°C			
206-213	Sn/Ag/Bi/X	Spotřebitelský	Panasonic
206-213	Sn/Ag/Bi	Vojenský/Letecký Spotřebitelský	Panasonic 1) Hitachi
199	Sn/Zn	Spotřebitelský	NEC, Pan., Toshiba 4)
Slitiny s nízkým bodem tavení (<180°C)			
	Sn/Bi/Zn *		
138	Sn/Bi		Panasonic

Obr. 1-2 Tabulka používaných pájek. [5]

I když je dnes drtivá většina elektronických zařízení pájena bezolovnatými pastami, vyskytují se názory na horší vlastnosti, než měly spoje s olovnatou pájkou. Bezolovnaté spoje mají větší křehkost, a tím jsou náchylnější na mechanické poškození. Také je větší náchylnost na vznik studeného spoje. To je dáno tím, že se místo olova začala používat měď, která je tvrdší než olovo, a tedy méně pružná. Bezolovnatá pájka je mnohem méně plastická a její přilnavost k desce i k součástce je také horší než u olovnatých pájek.

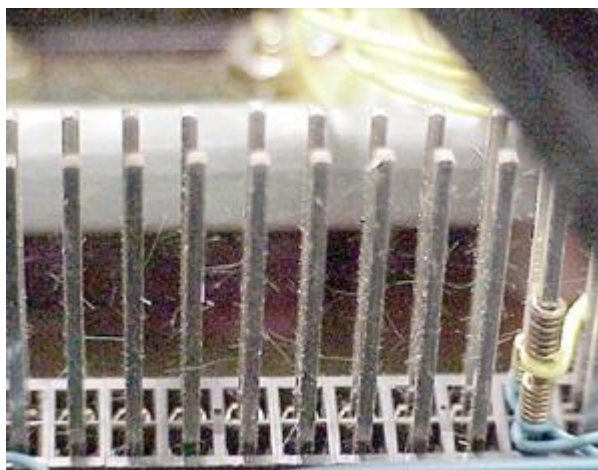
Bezolovnaté pájení klade velký důraz na přesné dodržování teploty a času působení. Bezolovnaté pájky mají přibližně o 40°C vyšší bod tavení než olovnaté, proto se při ručním pájení doporučuje doba pájení maximálně 3 sekundy.

Jedním z problémů, které vznikají při pájení bezolovnatými pastami, je tombstoning, tedy nad zvednutí součástky, která má zapájenou pouze jednu stranu, nejčastěji u dvouvývodových SMD součástek - rezistorů, kondenzátorů, diod apod. Tombstoning vzniká díky nerovnováze sil během procesu přetavení. A to především kvůli nerovnoměrnému rozložení tepla na obou koncích součástky. Tombstoningu se dá zabránit správným nanesením pájecí pasty přes šablonu. Příklad tombstoningu je na obrázku 1-3.



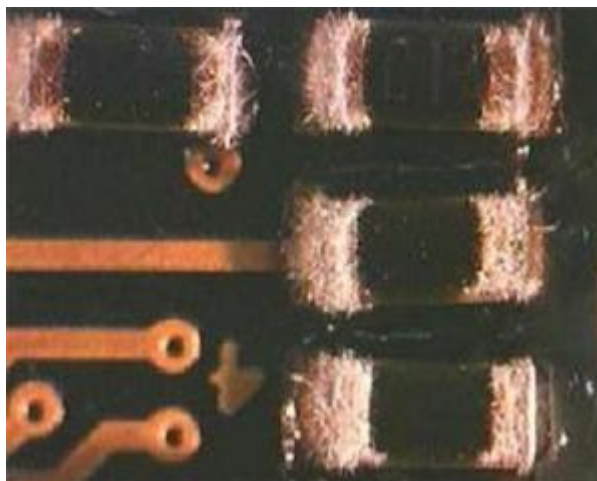
Obr. 1-3 Teoretický příklad tombstoningu. [17]

Dalším z problémů, jsou whiskery, tedy monokrystalické vlákno. Jedná se o vlasek čistého cínu o průměru 1-10 μm s délkou až 10 mm a s rychlostí růstu vlákna 1 cm za rok. Rychlost růstu závisí na prostředí. V případě, že dojde díky tomuto vláknu ke zkratu, může vést proud o velikosti několik ampér. Toto je další nedostatek bezolovnatých pájek, který může vést ke zničení elektrických obvodů na desce plošného spoje. Vlákna se dá zbavit opětovným přetavením spoje.



Obr. 1-4 Whiskery na kontaktních pinech. [4]

Na obrázku 1-4 jsou vidět whiskery po roce v extrémních podmínkách. Velikost zkratového proudu mezi 1.27 mm dlouhým vláknem při napětí 5V byl 5A. Na obrázku 1-5 jsou roční whiskery na SMD odporech 0201 při standardních podmínkách



Obr. 1-5 Whiskery na spojkách SMD odporech. [4]

Další závady, které mohou vzniknout při procesu přetavením.

- tvorba kuliček pájky
- zbytky nepřetavené pájecí pasty
- horší přetavování a horší tokové vlastnosti
- dendritické ztuhnutí spoje, které se projevuje tím, že je spoj matný

1.2.5 Speciální pájky

Speciální pájky se vyznačují velmi nízkou teplotou tání 65-100°C. Jedná se o směsi cínu, olova, bismutu a kadmia. Každá z těchto směsí má speciální označení. Stručné shrnutí speciálních past je v následující tabulce, včetně jejich názvů a poměru jednotlivých kovů.

Název	Cín (Sn) %	Olovo (Pb) %	Bismut (Bi) %	Kadmium (Cd) %	Teplota tání °C
Roseův kov	15,5	32,5	52	0	96
Roseův kov	20	20	60	0	121
Woodův kov	13	26	48	13	70
Lipowitzův kov	13,3	26,7	50	10	60
Arcetův kov	25	25	50	0	92

Tab. 1-1 Speciální typy pájek [17]

Další kategorií bezolovnatých pájek jsou bismutové pájky. Tedy pájky, jejichž největší složka je bismut. Většinou to bývá mezi 50 - 60 %. Tyto pájky mají teplotu tavení od 130°C. Bismutové pájky mají ve většině případů srovnatelné vlastnosti s bezolovnatými pájkami, a v některých případech mají vlastnosti dokonce lepší, při podstatně menší tavící teplotě. Například mají velmi dobrou smáčivost.

1.2.6 Použité pájky

V této práci se pracuje se dvěma pájkami, a to s bezolovnatou pájkou SAC305 (Sn96,5Ag3Cu0,5) a bismutovou pájkou (Sn42Bi57Ag1). V dalších kapitolách této práce je nahlíženo na chování a rozdíly těchto past při pájení a trhání. Jaké mají mechanické vlastnosti a jestli je možné pozorovat rozdíl při použití nejprve SAC305 a poté bismutové pasty. V pájkách dochází ke vzniku intermetalické sloučeniny, která může mít vliv na kvalitu a pevnost výsledného spoje.

Intermetalická sloučenina je výsledek různých chemických vazeb během procesu přetavení. Je to sloučenina dvou nebo více kovů. U této sloučeniny jsou vlastnosti rozdílné od vlastností čistých kovů. Vrstvy intermetalické sloučeniny se vyskytují na rozhraní mezi pájecí slitinou a pájeným povrchem a ovlivňují spolehlivost výsledného pájeného spoje. Mezi jejich vlastnosti patří zpevnění vytvořeného spoje, ale jelikož jsou tyto vrstvy křehčí než samotná pájka a podkladový materiál, negativně ovlivňují životnost pájeného spoje. Intermetalická vrstva nemá během svého trvání konstantní tloušťku. Její tloušťka se v průběhu času mění. Po vytvoření intermetalické sloučeniny je její tloušťka v řádech desetin μm , záleží na typu sloučeniny, ale v průběhu času může být tloušťka až desítky μm . Rychlost změny tloušťky závisí kromě jiného také na teplotním namáhání.

Porovnání past v následující tabulce.

Název	Cín (Sn)%	Stříbro (Ag)%	Bismut (Bi)%	Měď (Cu) %	Teplota tání °C
SAC305	96,5	3	-	0,5	218
Bismutová pasta	42	1	57	-	170

Tab. 1-2 Porovnání použitých past SAC305 a Bismutové

1.1 Rework

1.1.1 Co znamená rework, proč se dělá a jak.

Rework neboli oprava je proces, který se používá především při výrobě elektroniky. Jedná se o proces, kdy se znovu vytvoří nevyhovující nebo nefunkční část, může se jednat o výměnu vadné komponenty, opětovně pozlacení kontaktů, nové na kontaktování čipů, reballing u BGA komponentů a podobně.

Rework se provádí v případě, že elektronické zařízení nefunguje tak, jak by mělo. Toto zařízení nejdříve putuje na diagnostiku, aby se identifikoval problém, proč dané zařízení, daná deska nefunguje. V případě, že se najde chyba, následuje rozhodnutí, jestli je to chyba opravitelná, nebo je poškození na tolik závažné, že by se nevyplatilo desku opravovat.

Postup reworku je pokaždé jiný, záleží na konkrétní chybě na desce. V případě, že se jedná o chybu na součástce, ať už je součástka posunutá, otočená, mechanicky poškozená a podobně, je postup většinou stejný, nejdříve se musí součástka sundat. To se dá provést různými způsoby, vždy záleží na konkrétním případě. Pro sundání se dá například použít ruční horkovzdušný nástroj a vakuová pinzeta. Při zahřívání desky je důležité, jak moc se deska zahřeje. Vlivem horkého vzduchu může na povrchu desky vzniknout popcorn efekt, tedy zpuchýřování horních vrstev na desce. Postup je takový, že se nejprve na kontakty nanese dostatek tavidla, poté se postupně zahřívá daná komponenta i okolí, musí se dávat pozor, aby se horkovzdušný nástroj neustále pohyboval a nezůstal staticky na jednom místě, jinak potom, může dojít k poškození desky. Po chvíli, která závisí na velikosti a typu součástky, je součástka odpájená a lze ji jednoduše sundat pomocí pinzety, v případě, čipů vakuové. Plošky se musí očistit od zbytků pájky i tavidla i toto se dá provádět různými způsoby, pomocí měděné tkanice a páječky, nebo pomocí strojového čištění. Ruční čištění probíhá tak, že se na plošky opět nanese tavidlo a na měděnou tkanici se položí pájka a opatrně se jezdí po kontaktech, to má za následek to že se zbytkový cín roztaví a nasaje se do měděné tkanice. Zbytky tavidla se odstraňují pomocí izopropylalkoholu a nejlépe tak, že se izopropylalkohol nanese na kontakty a okolí zasažená tavidlem a přes papírovou utěrku se ESD kartáčkem přejíždí po desce, a tím se odstraní tavidlo.

Takto vyčištěná deska je připravena na opětovné osazení novou součástkou. Opět záleží na tom, o jakou součástku se jedná, jestli se bude osazovat ručně nebo strojně například průtahovou pecí. V případě pece se na kontakty nanese malé množství vybrané pasty, osadí se nová součástka a pošle se do pece. Musíme nastavit vhodný teplotní profil ideální pro danou pastu, ovšem také je třeba dávat pozor na okolí součástky a desku, která je opět tepelně namáhána. To je jeden z důvodů, proč se při opravě používají pájky s nižší teplotou tavení, například bismutové. V případě, že se k opravě používá opět průtahová pec, nelze použít bezolovnaté pájky.

Po zapájení je potřeba zkontrolovat, zda se daná součástka skutečně zapájela, v případě nejistoty je nejlepší spoj zkontrolovat pod mikroskopem.

Takto opravená desky by měla znovu putovat na testování, jestli je skutečně plně funkční.

2. PRAKTICKÁ ČÁST – PRVNÍ POLOVINA DESEK

2.1 Návrh desky

Pro zhodnocení vlastností bezolovnatých pájecích past bylo potřeba navrhnout desky plošného spoje, na kterých by se mohlo experimentovat. Bylo proto rozhodnuto vytvořit desku, na které by byl větší počet součástek, aby bylo možné mít více údajů, které byly posléze zhodnoceny. Díky tomu tak byla větší šance vyvarovat se chybám.

Počet desek byl zvolen 40 s rozdělením:

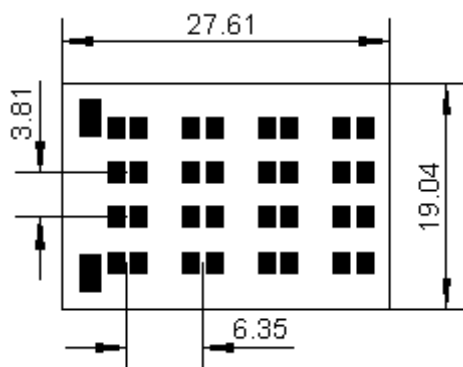
1. 10x deska s povrchovou úpravou chemickým zlatem, která bude osazena bezolovnatou pájecí pastou typu SAC305
2. 10x deska s povrchovou úpravou chemickým zlatem, která bude nejprve osazena s pájecí pastou SAC305 poté budou rezistory odpájeny, deska očištěná a znovu osazena, tentokrát s pastou Sn42Bi57Ag
3. 10x deska s povrchovou úpravou chemickým zlatem, která bude osazena bezolovnatou bismutovou pájecí pastou typu Sn42Bi57Ag1.
4. 10x deska s povrchovou úpravou chemickým zlatem, která bude osazena pastou, která vznikla smícháním pasty SAC305 a bismutové Sn42Bi57Ag1.

Součástky na desky byly zvoleny 0 ohmové SMD rezistory velikosti 0805. Dále bylo potřeba, aby rozměry desky byly natolik malé, aby se vešla do přístroje na zkoušku stříhem, přístroj, který byl použit je PC 2400 od firmy Dage. S malými rozměry desky se však zmenšil počet rezistorů na desce. Byl zvolen kompromis, v němž bylo zvoleno, že počet rezistorů na jedné desce bude 16

2.1.1 Návrh v Eaglu

Pro návrh desky plošného spoje byl použit program Eagle verze 6.5.0. Typ rezistoru byl vybrán ze standardní knihovny Eaglu rcl, a to sice R-EU_M0805. V knihovně bylo na výběr celkem ze třech typů rezistoru 0805, kde se každý trochu lišil ve velikosti a tvaru plošek. Byl zvolen rezistor, který měl kontaktní plošky největší, aby se dalo použít více pasty, a tím se zajistilo kvalitní zapájení. I přesto, že výsledný obvod nemusel být elektricky funkční, protože jsou na desce přítomny pouze 0 ohmové rezistory, se na desce vytvořily kontaktní plošky pro možnost připojení napájení.

Rozměry dané desky byly zvoleny tak, aby se bez problému vešla do přístroje pro zkoušku trhem, a zároveň bylo mezi rezistory dostatečné místo na pohyb trhacího nástroje. Rozměry jsou v milimetrech a jsou vidět na obrázku 2-1.



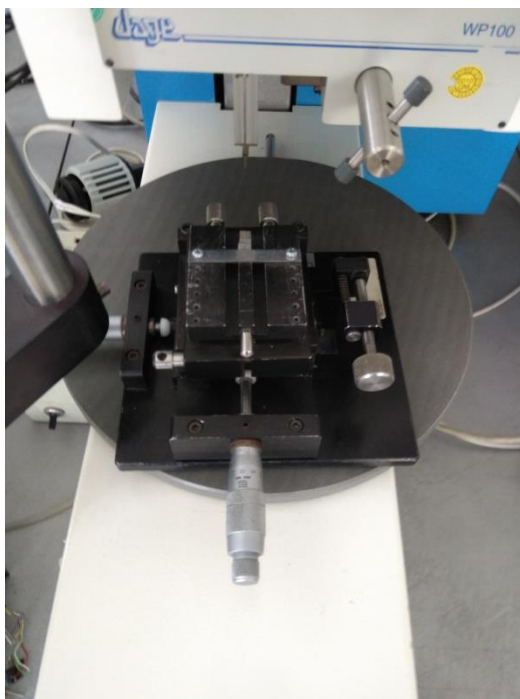
Obr. 2-1 Návrh tištěného spoje v Eagle

2.1.2 Výroba desek

Poptávka ohledně výroby desek byla poslána do firmy Čemebo, od které přišla kalkulace pro desku o tloušťce substrátu 1,50 mm a tloušťce mědi 35 μm 13,07 Kč/ks. Nakonec byla vybrána firma Printed, která slibovala vyrobené desky dodat v kratší době. Výrobní data byla z Eagle vyexportována pomocí CAM procesoru ve formátu Gerber 274X.

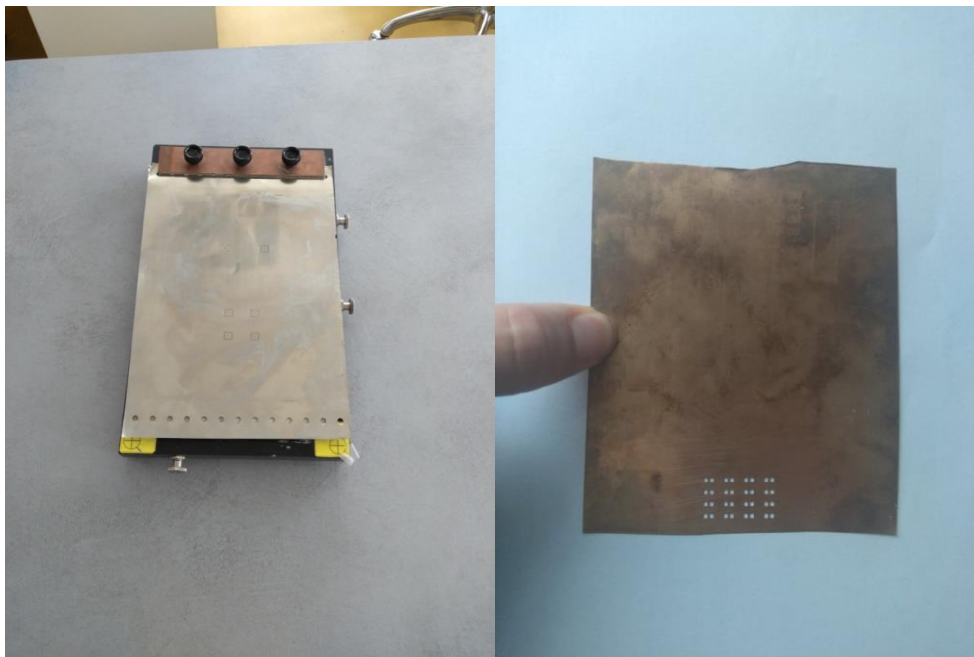
2.1.3 Rozměry

Rozměry byly naměřeny přímo na trhačce, a to pomocí digitálního posuvného měřítka. Úchyt pro desky má maximální šířku standardně 50 mm, ale délka se dá pomocí několika šroubů a plíšku posouvat, a to sice na rozměry (58; 50,5; 43,5; 34,5; 26,5 mm) rozměry se mohou o pár desetin milimetrů lišit, což bylo způsobeno tím, že plíšek nebyl při každém měření přešroubován, ale zůstal v pozici, v jaké byl. Tímto měřením bylo zjištěno, jakých minimálních rozměrů může deska nabývat, aby se dala použít pro trhání.



Obr. 2-2 Úchyt na desku

Další, co bylo potřeba naměřit, byly rozměry desky pro šablonu, přes kterou bude nanášena pasta na desku. Největší rozměry plechu na šablonu byly naměřeny 28,4 x 19,85 cm, samotný plech, na kterém je šablona, má však rozměry 11,5 x 9,9 cm (viz obrázky 2-3, 2-4). Do plechu se šablona vyřezala pomocí laseru.



Obr. 2-3 Stolek pro uchycení šablony

Obr. 2-4 Použitá šablona

2.2 Osazení desky, pájení, kontrola

Desky vyrobené podle vypracovaného návrhu je třeba osadit součástkami. Pro zapájení byla zvolena metoda přetavením v průtahové peci.

2.2.1 Nanesení pasty

Pasta se nanášela pomocí vyřezané šablony (viz obrázek 2-4). Nejprve byla použita pájecí pasta SAC305 pro 20 desek, poté bismutová pasta pro 10 desek, pro poslední desítku desek se obě pasty smíchaly a postup nanášení byl stejný.

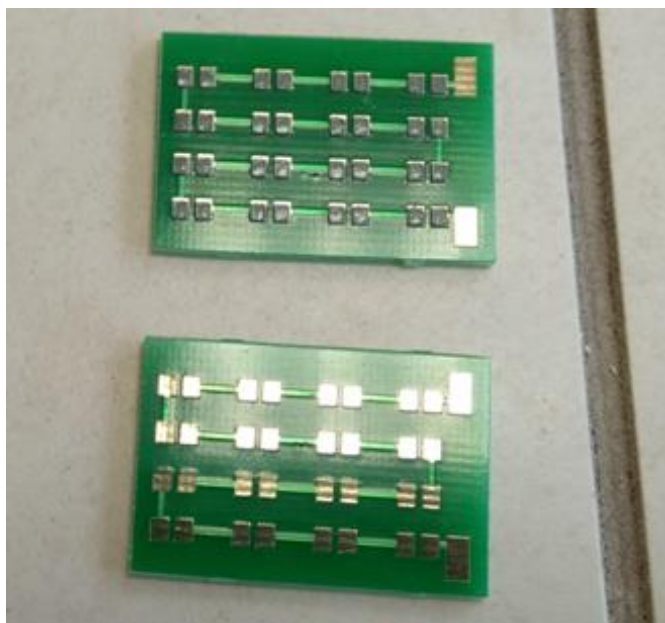
Postup nanášení pasty:

1. Nejdříve bylo potřeba upevnit šablonu v nástavci, to se provedlo tak, že se šablona vložila mezi dva plíšky a pomocí tří šroubů se utáhla, aby se při používání a nanášení pasty nepohnula.
2. Dále se umístila vyrobená deska kontakty nahoru pod šablonu. V místě, kde byly výřezy, bylo potřeba dávat pozor, aby otvory v šabloně po přimáčknutí přesně licovaly s kontakty na desce a pasta se tedy dostala na všechny kontakty rovnoměrně.
3. Poté se vzala pasta a část se jí nanasla na šablonu před vyřezané otvory směrem k utahovacím šroubům. Bylo potřeba dávat pozor, aby nanesená pasta nebyla pouze přímo před otvory, ale aby přesahovala i do krajů. Tím se zamezilo tomu, že by na krajních ploškách desky bylo méně pasty a poměr pasty na ploškách desky by byl nerovnoměrný (viz obrázek 2-5).



Obr. 2-5 Šablona s nanesenou pájecí pastou

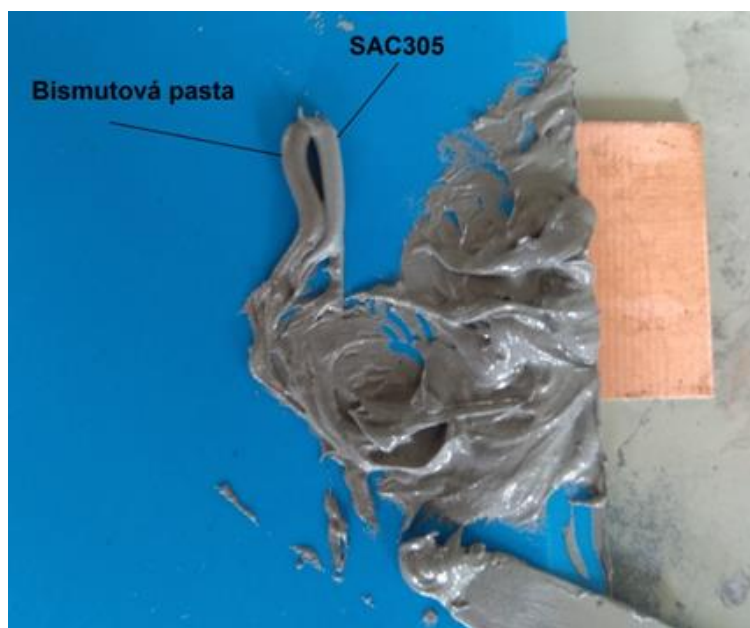
4. Tímto bylo vše připraveno pro samotné nanesení pasty na desku. To se provedlo pomocí plastové stěrky, která měla zkosenou hranu. Stěrka se hranou položila před pastu, nastavila se pod úhlem 45° a za stálého rovnoměrného tlaku po celé délce hrany se posouvala směrem přes vyřezané otvory.
5. Po nanesení pasty se šablona opatrně nadzvedla a deska se vyjmula tak, aby nedošlo ke kontaktu s nanesenou pastou na jejích ploškách. Deska se odložila a vložila se čistá deska. Opět bylo potřeba desku přesně vycentrovat, aby seděly kontakty na desce přesně na otvory šablony. Na obrázku 2-6 je vidět rozdíl mezi deskami s nanesenou pastou na kontaktech a čistými kontakty bez pasty.



Obr. 2-6 Rozdíl mezi deskou s pastou a bez pasty

6. Aby se šetřilo pastou, setřela se rozetřená pasta ze stěrky a opět se vložila na stejné místo šablony jako předtím.
7. Tento postup se opakoval pro všechny desky.
8. V případě nanášení bismutové pasty bylo potřeba celou šablonu, pracovní desku pod šablonou, stěrku i pomocnou špachtli vyčistit od zbytků pasty SAC305. To se provedlo pomocí papírové utěrky a izopropylalkoholu.

9. Pro poslední desítku desek, na které měla být nanесena směs bismutové pasty a pasty SAC305, bylo potřeba nejdříve obě pasty smíchat. To bylo provedeno tak, že se na stěrku, která posloužila jako míchací deska, nanесlo stejné množství obou past a pomocí špachtle se smíchaly. Míchání bylo prováděno více jak 5 minut, aby se obě pasty dokonale promíchaly. Z obrázku 2-7 můžeme vidět, rozdíly mezi oběma pastami. Tmavší pasta je bismutová a má i jemnější strukturu, kdežto světlejší pasta SAC305 je trochu pevnější a drží lépe při sobě, proto bylo potřeba důkladného promíchání obou past.

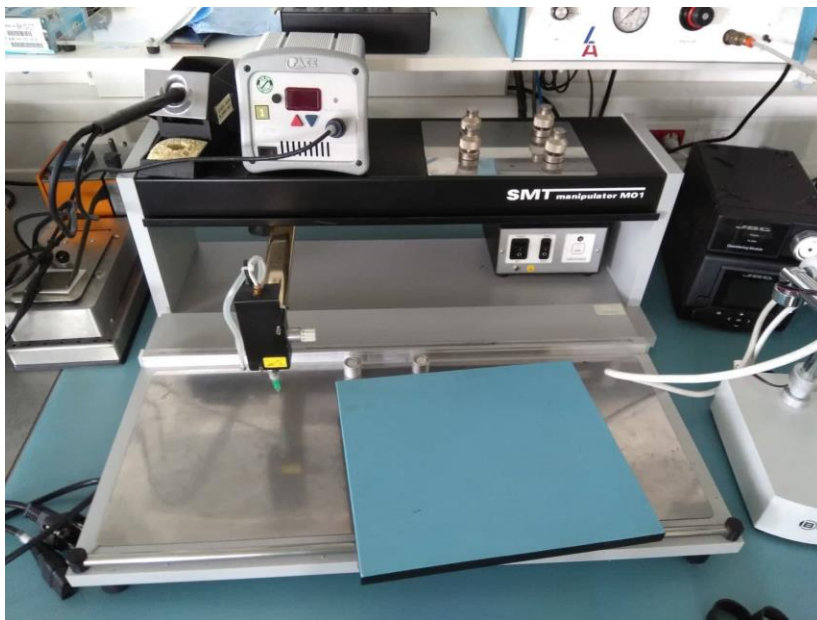


Obr. 2-7 Míchání past a rozdíl mezi nimi

10. S takto smíchanými pastami se aplikoval stejný postup jako s jednotlivými. Tímto byly všechny desky s nanесenou pastou připraveny a bylo možno přejít k osazování.

2.2.2 Osazení rezistorů

Osazování rezistorů bylo prováděno ručně pomocí vakuové pinzety, která byla součástí přístroje SMT manipulator M01 (viz obrázek 2-8). Osazování byla poměrně jednoduchá, ale časově náročnější práce, šlo o to vložit rezistor pokud možno co nejvíce přesně do pasty na kontaktech desky.

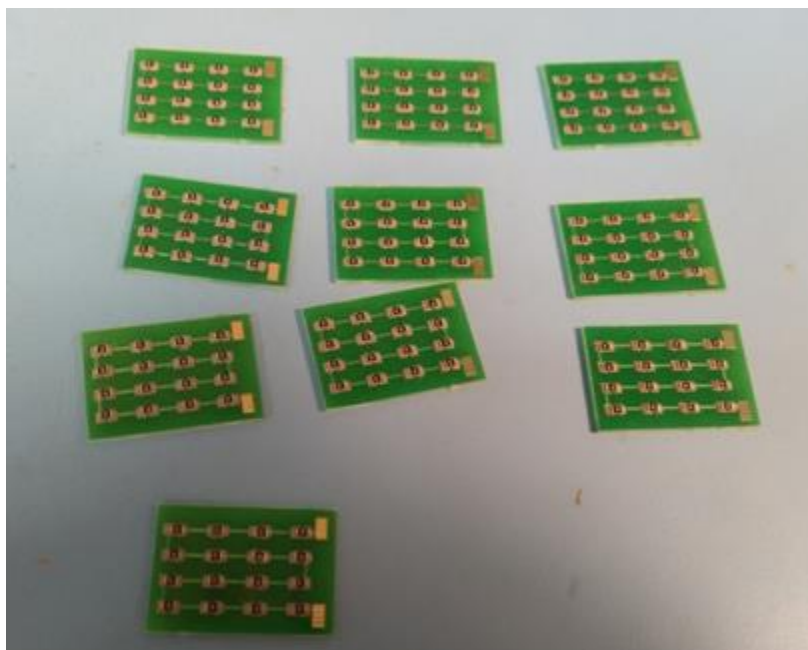


Obr. 2-8 Osazovací nástroj

Postup osazování byl následující:

1. Deska, která měla na kontaktech již nanesenou pájecí pastu, se položila na pracovní desku stolu.
2. Vedle desky se umístily rezistory, které byly pomocí duté vakuové jehly, jež byla součástí přístroje, přidržovány podtlakem a umísťovány na desku.
3. Jehla s nasátým rezistorem se mohla nastavovat do všech třech směrů, a to včetně nastavení úhlu natočení. Tím bylo docíleno, že byly rezistory umísťovány přesně na kontakty desky.
4. Tímto způsobem bylo osazeno všech 40 desek.

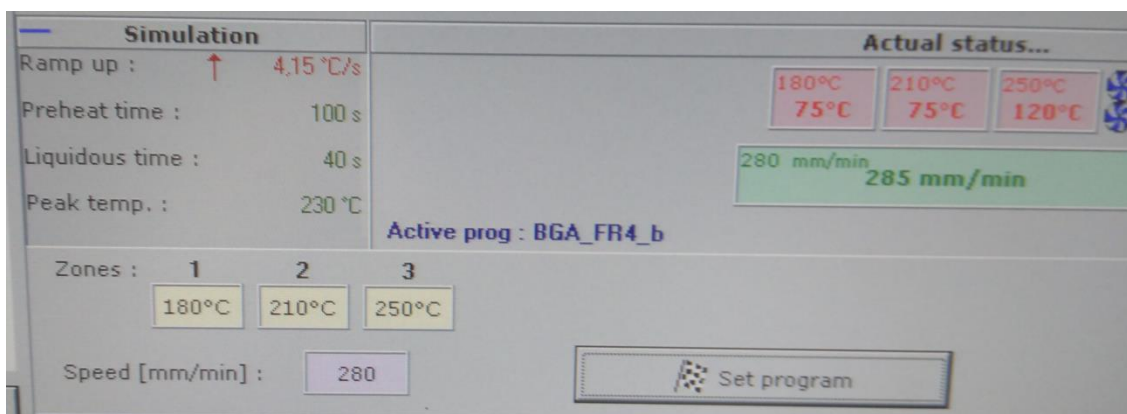
Na obrázku 2-9 vidíme desky osazené rezistory předtím, než byly vloženy do pece kvůli zapájení.



Obr. 2-9 Desky osazené rezistory, připravené na zapájení

2.2.3 Zapájení rezistorů

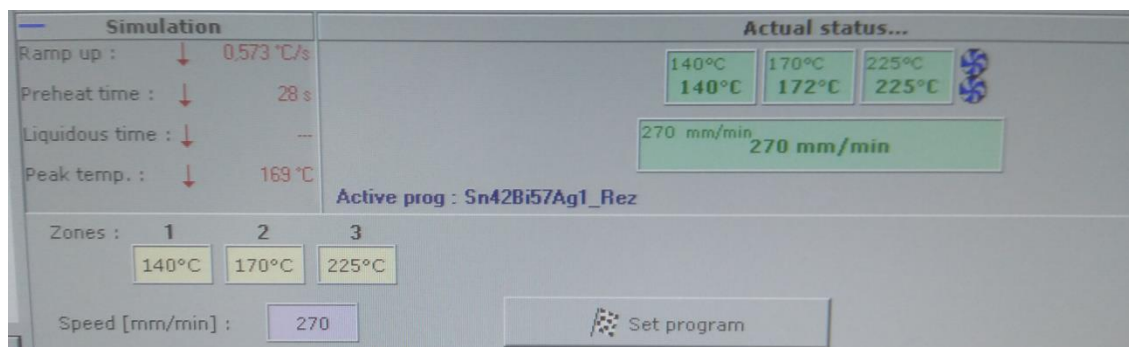
Pro zapájení rezistorů byla použita metoda přetavení v peci. Desky osazené rezistory se položily na pás, který vedl do pece. Jak se později ukázalo, bylo důležité, jak se desky na pás položí. Nejprve byly do pece poslány desky, které byly s pastou SAC305, na obslužném PC se nastavil teplotní profil pasty SAC, který měl označení BGA_FR4_b. Pec se nechala nahřát a poté se mohly vložit desky na pás. Průběh pájení jedné desky trval přibližně 5 minut a 55 sekund.



Obr. 2-10 Nastavení teplotního profilu pro pastu SAC305

Z obrázku 2-10 je vidět nastavení daného teplotního profilu. Na stejný teplotní profil byly zapájeny i desky osazené směsí obou past. Tento profil byl zvolen z důvodu přítomnosti bezolovnaté pasty SAC305, v případě, že by byl použit teplotní profil pro bismutovou pastu, nedošlo by k přetavení pasty SAC305 a rezistory by nebyly správně zapájeny.

Pro desky osazené pomocí bismutové pasty se musel nastavit jiný teplotní profil, vhodný pro daný typ pasty. Byl zvolen teplotní profil s označením Sn42Bi57Ag1 Rez. Průchod desky pecí tentokrát trval 6 minut a 4 sekundy. Nastavení teplotního profilu je vidět na obrázku 2-11.

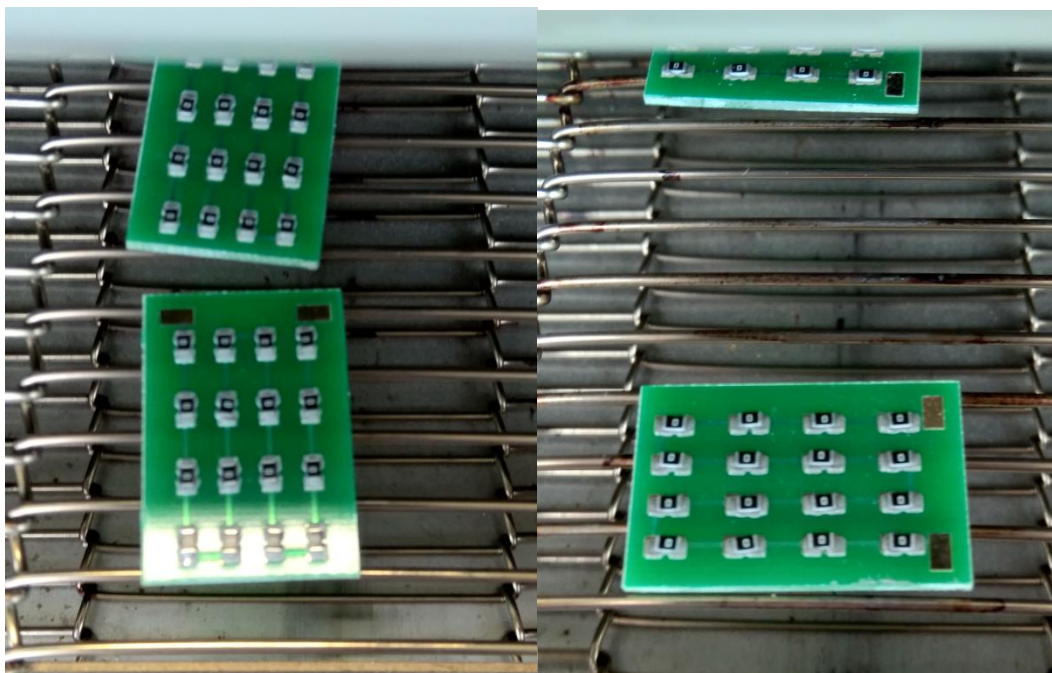


Obr. 2-11 Nastavení teplotního profilu pro pastu Sn42Bi57Ag1

2.2.4 Kontrola zapájení

První série 10 desek osazená s pastou SAC305 byla na pás pece položena podélně (viz obrázek 2-12). Po zapájení se při vizuální kontrole správnosti zapájení se na všech deseti deskách, které byly dohromady osazeny 160 rezistory, našlo celkem 21 chyb. Což dělá podle vzorce 2.2.4 chybovost 13,125%. Druhá série desek s pastou SAC305 byla do pece dána příčně, tedy s otočením o 90° (viz obrázek 2-13). Při vizuální kontrole bylo odhaleno celkem 13 chyb, tedy podstatně méně. Chybovost byla 8,125%, tedy o celých 5% menší než v předchozím případě. Z toho je tedy možno vyvodit, že první způsob položení desky do pece je špatný, vysoká chybovost byla způsobena tím, že při průchodu pecí byl nejdříve zahřát jeden konec rezistoru, který se zapájel, ale druhý konec ještě nebyl zahřát na stejnou teplotu, proto u rezistorů, které nebyly přesně na ploškách, došlo k nadzvednutí nebo nesprávnému zapájení.

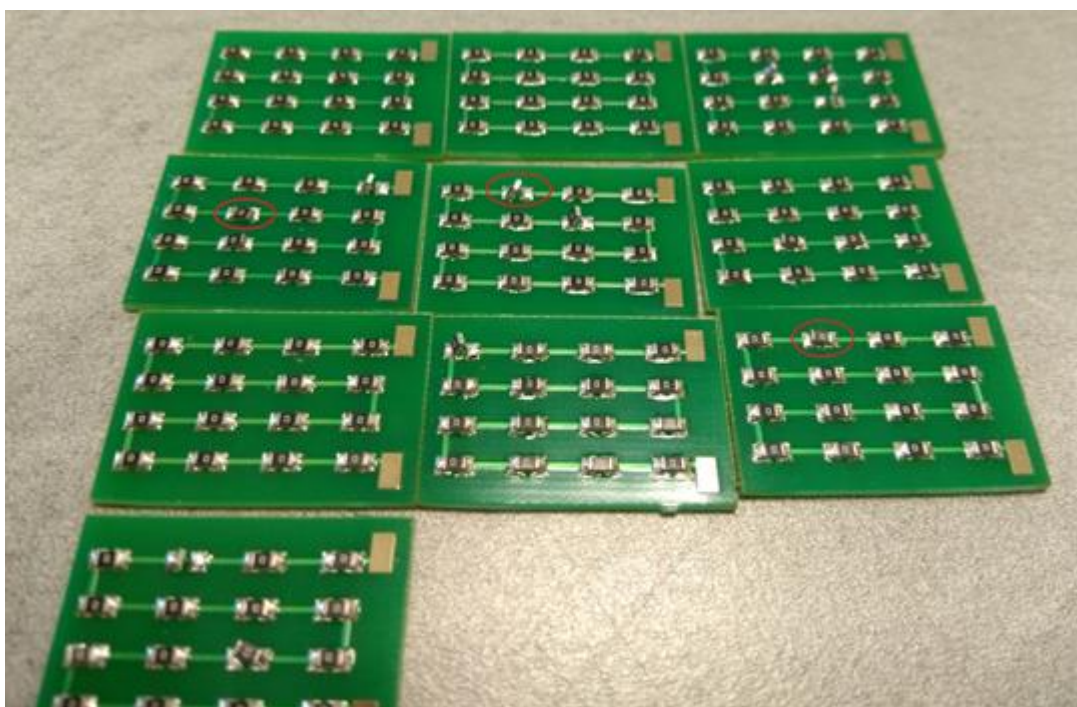
$$x = \frac{\text{počet chyb}}{\text{počet rezistorů}} \cdot 100\% = \frac{21}{160} \cdot 100\% = 13,125\% \quad (2.2.4)$$



Obr. 2-12 Desky položené podélně

Obr. 2-13 Desky položené příčně

Na obrázku 2-14 jsou vidět vzniklé chyby, většina chyb bylo nadzvednutí jedné strany rezistoru (tombstone), další chyby byly nesprávné zapájení jednoho kontaktu rezistoru, ovšem rezistor zůstal ležet.



Obr. 2-14 Chyby na deskách po zapájení, tombstone

U desek, na kterých byly zapájeny rezistory směsí obou past, byl aplikován správný postup položení desky na pás, tedy tak, aby se oba kontakty zahřívaly ve stejnou dobu na stejnou teplotu. U těchto desek vzniklo chyb pouze 6 a chybovost tedy byla 3,75%. Za menší chybovost pravděpodobně mohla přítomnost bismutové pasty, která má jiné vlastnosti než pasta SAC305.

U desek s bismutovou pastou byl také aplikován správný postup položení desky na pás. Na těchto deskách nevznikla žádná chyba, a proto je chybovost 0%. Tato skutečnost opět navádí k myšlence, že menší chybovost u směsí past by mohla být způsobena přítomností složek bismutové pasty.

2.2.5 Oprava chyb po pájení

Pro další práci s deskami bylo potřeba opravit chyby vzniklé při pájení. K tomu byla použita metoda přetavením horkým vzduchem. Tato metoda spočívá v tom, že se za pomoci ručního horkovzdušného nástroje nahřeje okolí špatně připájeného rezistoru, tím se roztaví pájka a pomocí pinzety se rezistor přichytí na správné místo oběma konci.

Postup opravy:

1. Pomocí ručního horkovzdušného nástroje od firmy JBC, který byl nastaven na teplotu 350°C s 80% proudem vzduchu.
2. Deska se pomocí magnetických svorek uchytila, aby se při manipulaci nehýbala.
3. Poté bylo rezistor a malé okolí okolo něj zahříváno, dokud se pájka neroztavila a rezistor nebyl umístěn na své místo. V tuto chvíli se muselo přestat se zahříváním, aby pájka opět mohla ztuhnout.
4. Bylo potřeba dávat pozor, aby se neroztavila pájka i u ostatních rezistorů, v případě, že se tak stalo, musel se opravit i tento rezistor, jinak hrozilo odlétnutí rezistoru nebo vznik studeného spoje, a tudíž menší pevnost spojení.

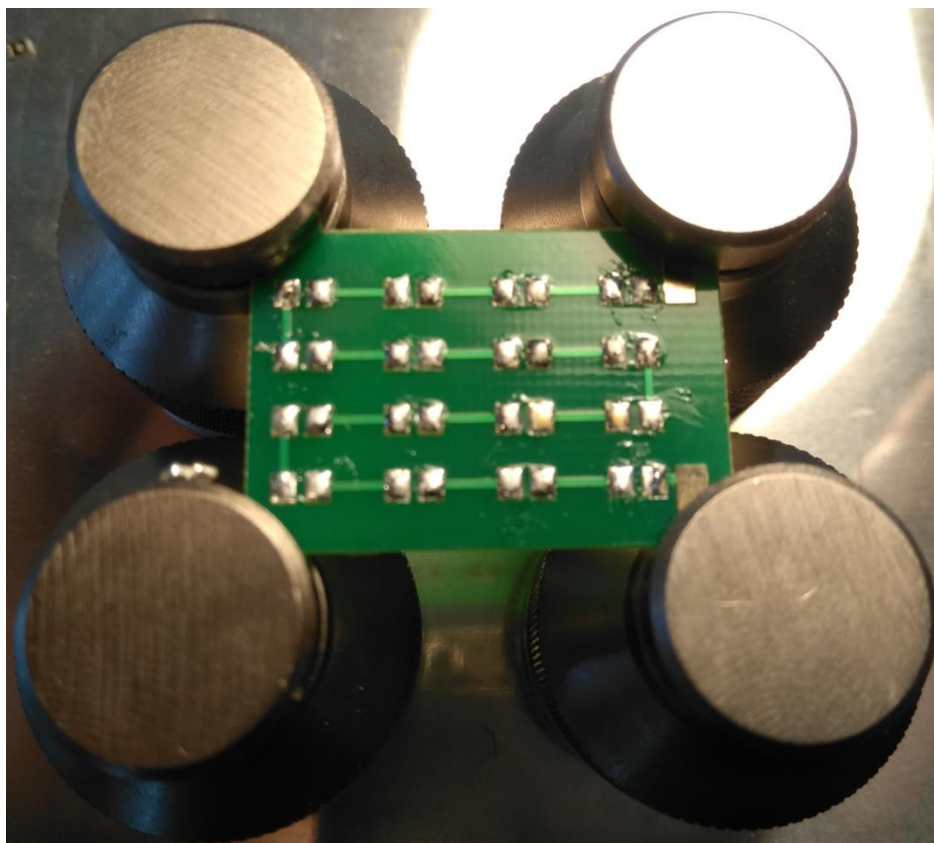
Tímto způsobem se opravily veškeré chyby na deskách. Při roztavení pájky opět uniklo tavidlo, takže bylo potřeba desky očistit pomocí papírové utěrky a izopropylalkoholu. Touto opravou byly desky připraveny na další práci.

2.2.6 Rework proces

Jak již bylo popsáno dříve, jedna série desek osazená pastou SAC305 prodělá proces reworku. Pro tento proces byla vybrána druhá série desek, tedy ta, která měla chybovost 8,125%. U těchto desek se neprováděla oprava, protože to bylo zbytečné. Z těchto desek se musely všechny rezistory pomocí horkého vzduchu sundat, poté se musely pomocí měděné tkanice očistit plošky od zbytkového cínu a poté izopropylalkoholem od zbytkového tavidla.

Postup reworku:

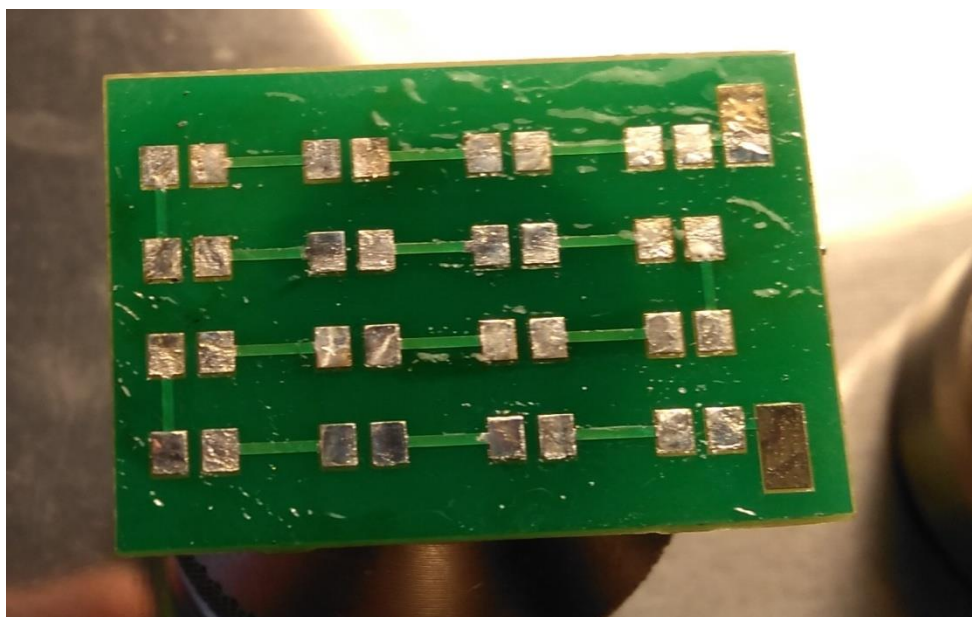
1. Nejdříve bylo nutné desku zafixovat, to bylo provedeno pomocí magnetických držáků.
2. Poté pomocí horkovzdušné stanice od firmy JBC, která se nastavila na 450°C se 100% průtokem vzduchu, se deska začala rovnoměrně krouživým pohybem po celém obvodu a ploše zahřívat.
3. V momentě, kdy se na některých rezistorech roztavila pájka, některé rezistory rovnou odlétly, kvůli silnému proudu vzduchu. Rezistory, které zůstaly, byly odstraněny pomocí pinzety. Aby rezistory neodlétly, stačilo regulovat nastavitelnou rychlost proudění vzduchu.
4. Na desce zůstalo poměrně velké množství pájky (viz obrázek 2-15), kterou bylo potřeba odstranit.



Obr. 2-15 Deska uchycená v držácích, se zbytkovou pájkou

5. To se provedlo metodou ručního čištění, pomocí tavidla, ruční pájky a měděné tkanice. Na kontakty se aplikovalo tavidlo a položila se na něj měděná tkanice. Ruční pájkou od firmy JBC nastavenou na 385°C, která se položila na tkanici, se pomalu přejíždělo z kontaktu na kontakt a měděná tkanice do sebe nasávala zbylou pájku.

6. Na obrázku 2-16 vidíme vyčištěnou desku, ovšem s velkým množstvím zbytkového tavidla, které je také potřeba odstranit.



Obr. 2-16 Deska očištěná od pájky, ale se zbytkovým tavidlem

7. Tavidlo se odstranilo pomocí papírové utěrky a izopropylalkoholu, který opatrně nanesl na desku, a papírovou utěrkou se deska utírala.
8. Na takto očištěnou a připravenou desku se opět přes již použitou šablonu nanesla bismutová pasta. Způsob nanášení byl pořád stejný jako ten, který už je popsán výše v části 2.2.1. I další postup byl stejný jako v dřívějších kapitolách. Na desky se osadily nové rezistory a byly položeny na pás do pece, na níž byl nastavený profil pro bismutovou pastu. Po zapájení opět proběhla kontrola a bylo pozorováno, že tentokrát na desce nebyla ani jedna chyba. Takže z tohoto pokusu by se mohlo odvodit, že bismutová pasta má menší chybovost, než pasta SAC305.

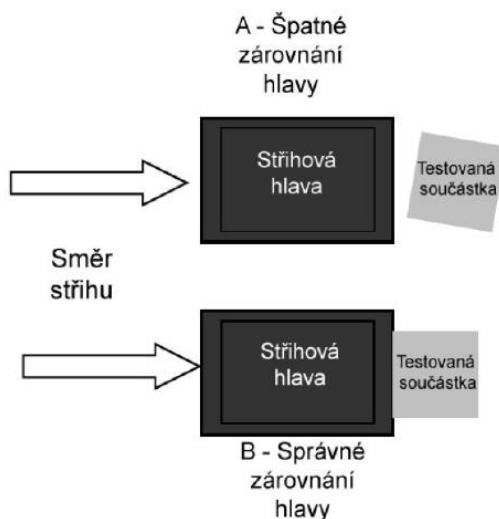
V tuto chvíli tedy bylo osazeno a zapájeno 40 desek, které čekaly další testy. Z každé série se vzalo 5 desek a vložily se do cyklovačky (viz kapitola 3.). Ze zbylých 5 desek se z každé série vzaly 4, které byly podrobeny zkoušce stříhem na zařízení PC 2400 od firmy Dage. Zbylá jedna deska z každé série byla podrobena výbrusu a zkoumání pod elektronovým mikroskopem.

2.3 Zkouška stříhem

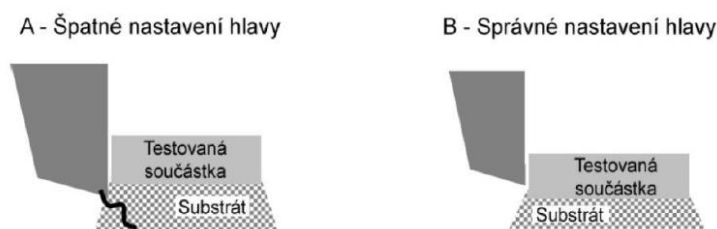
Zkouška stříhem se provádí pro otestování mechanické pevnosti pájeného spoje. Pro testování pevnosti spoje byly napsány dvě normy, a to sice norma ČSN EN 62137-1-2 a norma ČSN EN 60749-19. Metoda stříhu však není vhodná pro veškeré typy pouzder součástek. Hodí se především pro testování pevnosti součástek pro povrchovou montáž.

Zkouška stříhem testuje potřebnou sílu, která je potřeba pro odtržení součástky z desky, tedy sílu, která zničí pájený spoj. Velikost této síly je určena především množstvím použité pájky a na pevnosti dané pájky. Proto je nutné nanášet definované množství pájky právě přes šablonu. Další faktorem jsou trhliny v pájce, které vznikají během procesu pájení, konkrétně pak ve fázi přetavení. Velikost a počet trhlin také ovlivňují celkovou pevnost spoje.

Pro testování není nutná žádná speciální teplota nebo okolní vlivy, dá se testovat při běžné pokojové teplotě. Jedním z nejdůležitějších parametrů při zkoušce stříhem je správné nastavení trhací hlavy. Při špatném nastavení by zaznamenaná hodnota síly nebyla zcela správná a došlo by ke zkreslení výsledků. Správné nastavení trhací hlavy je takové, aby trhací hrot tlačil do 3/4 boční výšky součástky a zároveň musí být trhací hrot rovnoběžný s trhanou součástkou. Zároveň se také musí pohlídat to, aby se při testování nepohnula deska, na které jsou součástky, protože i to by vedlo ke zkreslení výsledků. V případě, že nejsou dodrženy tyto podmínky, může dojít k předčasnému popraskání pájeného spoje a špatnému zaznamenání hodnot síly odtrhu. Na obrázku 2-17 je vidět správné zarovnání hlavy se součástkou, na obrázku 2-18 je vidět správná výška trhacího hrotu.



Obr. 2-17 Porovnání směru natočení trhací hlavy [14]



Obr. 2-18 Porovnání výšky trhacího hrotu [14]

2.3.1 Nastavení přístroje

Zkouška stříhem byla provedena na přístroji Dage PC 2400. Na tomto zařízení se zkoumala mechanická pevnost pájených spojů. Toto zařízení se ovládalo pomocí joysticku, který pohyboval se stolem, na kterém byla umístěna deska, a dala se tedy přesně nastavit správná poloha trhací hlavy a součástky. Dále byl přítomen mikroskop, pomocí kterého se dal detailně pozorovat průběh trhání, aby se zjistily vizuální rozdíly chování past při zátěži. Další parametry se nastavovaly přes PC. Na obrázku 2-19 je vidět zařízení Dage PC 2400 s mikroskopem, deskou připravenou na trhání a obslužným PC.

Parametry nastavené v PC.

- | | |
|---|----------------------|
| ➤ rychlost hrotu při testování výšky od desky: | 300 $\mu\text{m/s}$ |
| ➤ výška hrotu od substrátu při testu: | 100 μm |
| ➤ rychlost posuvu hrotu při testu: | 16,7 $\mu\text{m/s}$ |
| ➤ vzdálenost, kterou ujede hrot po odtrhnutí součástky: | 500 $\mu\text{m/s}$ |
| ➤ rozsah měření: | 100 N |
| ➤ procentní pokles z max. hodnoty, po které se test ukončí: | 20% |
| ➤ byl zvolen destruktivní test. | |
| ➤ šířka nástroje pro rezistor velikosti 0805: | 3,8 mm |



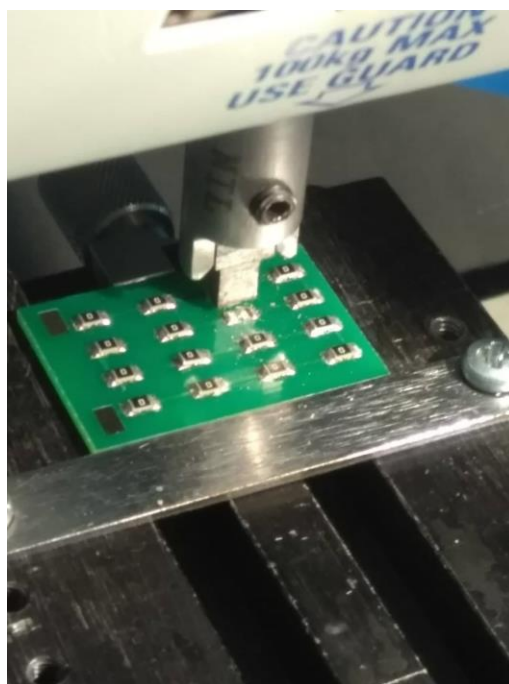
Obr. 2-19 Přístroj PC 2400 od firmy Dage pro zkoušku stříhem

2.3.2 Postup testování

Při testování bylo nutné dodržet následující postup, aby se zamezilo chybám.

1. Nejprve bylo nutné nastavit parametry trhání. Na to se použilo již zmíněné nastavení.
2. Poté se nastavil trhací hrot před součástku, která měla být trhána. K tomu byl použit elektrický stoleček ovládaný joystickem, nebo v případě, že byl stoleček v krajní pozici a nešlo ho ovládat joystickem, se pomocí rukou nastavil do správné polohy.
3. V případě správného nastavení se na PC zapnula funkce vakua, která znemožnila dalšímu hýbání stolečku, ten se dal ovládat již pouze přes joystick.
4. V ovládacím programu na PC se zmáčkl tlačítko start. Trhací hrot nejprve sjel až na substrát a poté se zvedl o nastavených 100 μm . V této výšce již zůstal a nastavenou rychlostí 16,7 $\mu\text{m/s}$ se začal pohybovat k součástce, začal s působením síly na součástku.

5. Po odtrhnutí součástky se hrot vrátil do původní polohy. V tuto chvíli, bylo-li potřeba, se otřel hrot od zbytků pájky a otřel se i prostor desky před další součástkou. V případě, že na hrotu nebo na desce zůstaly zbytky předešlého testu, hrot si špatně nastavil počáteční výšku, a tudíž hrozilo, že bude působit ve špatném místě součástky a výsledná síla bude chybná. Na obrázku 2-20 je vidět deska umístěná v zařízení s odtrženou součástkou a hrotem v původní poloze.



Obr. 2-20 Deska po odtrhnutí rezistoru

2.3.3 Zhodnocení výsledků trhání

Zkoušce stříhem byly podrobeny 4 desky z každé série, dohromady tedy 16 desek. Při zmíněném nastavení odpovídal průměrný čas testování jedné desky 20 minutám. V následujících tabulkách jsou zpracované výsledné hodnoty testů. V každém bodě je také popsáno chování past během testu.

Hodnoty síly u rezistorů, které nebyly správně zapájeny, nebo na nich byla jiná vada, byly zaznamenány, ale v tabulkách jsou označeny červenou výplní a ve statistickém zpracování nebyly brány v potaz.

2.3.4 Série desek s pastou SAC305

Z tabulky 2-1 se dá pozorovat, že průměrná síla potřebná k odtržení součástky je 50,138 N. Minimální síla je 32,576 N a maximální pak 70,370 N. Z toho je vidět, že se síla pohybuje v rozmezí až 40 N. To může být zapříčiněné tím, že ne všude na desce byla pasta rovnoměrně rozetřená a především krajní pozice byly v extrému. Pozice vlevo (žlutá barva) měly pasty méně a pozice vpravo (oranžová barva) zase více. To by mohlo být způsobené chybou při nanášení pasty přes šablonu.

Pasta SAC305 se při testu chovala tak, že při působení síly nepraskala, ale rezistor se nejdříve o 0,5 - 1 mm posunul po plošce bez viditelných prasklin pasty, a teprve po tomto posunutí došlo k prasklinám a rezistor se zcela uvolnil. Většina pasty však zůstala stále přítomna na kontaktech. Z toho lze usoudit, že tato pasta je poměrně pružná a flexibilní.

4x desky osazené pastou SAC305				
Rezistor	1_6 síla (N)	1_7 síla (N)	1_8 síla (N)	1_9 síla (N)
1	34,786	48,450	46,823	51,251
2	50,419	40,736	53,695	48,189
3	52,010	54,851	49,084	61,599
4	54,618	61,548	56,727	52,952
5	46,488	37,071	48,294	44,612
6	61,498	42,850	45,204	47,566
7	52,640	47,290	55,956	49,481
8	51,321	51,532	53,493	58,427
9	38,658	45,550	43,659	47,150
10	55,941	50,940	46,204	53,878
11	54,917	46,920	51,259	49,683
12	52,995	53,785	70,370	57,730
13	36,724	60,389	50,944	48,189
14	44,504	58,474	54,104	58,774
15	47,496	47,099	59,392	32,576
16	45,636	46,169	36,218	51,045
Průměr	50,148	50,028	51,339	50,819
Medián	50,870	47,870	51,106	51,045
Minimum	34,786	37,071	36,218	44,612
Dolní kvantil	45,070	47,870	46,514	48,189
Horní kvantil	53,807	54,318	55,030	55,804
Maximum	61,498	61,548	70,370	61,599
Celk. průměr	50,583			

Tab. 2-1 Naměřené hodnoty pro pastu SAC305

2.3.5 Série desek s bismutovou pastou

Z tabulky 2-2 se dá pozorovat, že průměrná velikost síly potřebná po odtržení součástky je 73,634 N. Minimální síla je 53,185 N a maximální 89,030 N. Z toho je vidět, že se rozmezí síly pohybuje v rozmezí přibližně 36 N.

Chování bismutové pasty při působení síly je podstatně rozdílné od chování pasty SAC305. Bismutová pasta vydrží průměrně o 23 N větší sílu. Tato pasta praská v momentě, kdy začne působit větší síla. Nejprve viditelně praskne tavidlo, je to stejný pohled, jako když praská sklo, hned vzápětí praskne i samotný pájený spoj. Pasta nejen, že praskne, doslova se rozletí na kousky a při větších silách se dokonce stalo, že byl rezistor vystřelen pryč z desky. Na ploškách na desce neuzůstávalo velké množství pasty. Při testu se také stalo, že byl z rezistoru odtržen malý růžek.

4x desky osazené bismutovou pastou				
Rezistor	2_6 síla (N)	2_7 síla (N)	2_8 síla (N)	2_9 síla (N)
1	76,842	71,639	80,010	90,809
2	63,545	70,810	79,259	67,335
3	68,289	79,901	75,558	70,098
4	89,030	89,213	87,046	85,598
5	78,387	53,185	82,247	68,452
6	68,460	73,729	65,580	60,813
7	79,239	62,273	75,212	61,564
8	79,483	79,029	83,769	60,657
9	84,213	65,673	83,660	82,843
10	66,923	68,106	88,836	72,410
11	71,098	68,483	66,491	74,741
12	74,877	68,608	76,044	75,581
13	91,772	60,023	57,890	70,643
14	73,511	81,656	86,497	76,309
15	62,665	57,054	67,621	70,316
16	68,829	75,686	70,705	75,749
Průměr	74,555	70,881	76,652	72,745
Medián	74,194	69,709	77,652	71,527
Minimum	62,665	53,185	57,890	60,657
Dolní kvantil	68,375	63,973	69,163	67,894
Horní kvantil	79,361	77,358	83,715	76,029
Maximum	91,772	89,213	88,836	90,809
Celk. průměr	73,708			

Tab. 2-2 Naměřené hodnoty pro pastu Sn42Bi57Ag1

2.3.6 Série desek, původně s pastou SAC305 poté s bismutovou

Z tabulky 2-3 se dá pozorovat, že průměrná síla potřebná k odtržení součástky je 76,672 N. Minimální síla je 53,960 N a maximální síla je 95,272 N. Z toho je vidět, že se síla pohybuje v rozmezí přibližně 42 N.

Chování pasty při působení síly je podobné jako v předchozím případě, nejprve je vidět a slyšet praskot tavidla, za kterým hned následuje slyšitelné prasknutí pasty. Opět se stávalo, že byl rezistor vystřelen. Z porovnání hodnot se dá pozorovat, že se průměrná hodnota potřebné síly zvětšila o 3 N. To by mohl být následek procesu, při kterém byly pasty vyměněny. Po tomto testu na rezistorech se může zdát, že by výměna pasty SAC305 za bismutovou pastu výsledné spojení mohla nepatrně zpevnit.

4x desky osazené pastou SAC305 a poté Bismut				
Rezistor	3_6 síla (N)	3_7 síla (N)	3_8 síla (N)	3_9 síla (N)
1	67,491	81,703	57,774	57,178
2	60,377	80,033	67,199	74,344
3	64,981	66,273	72,733	68,312
4	83,469	77,838	94,175	82,89
5	53,96	72,227	68,612	75,391
6	76,017	88,369	76,216	83,901
7	72,273	89,202	90,221	79,317
8	72,285	83,516	76,753	89,579
9	81,45	89,805	74,095	85,357
10	82,757	88,225	78,072	71,662
11	73,495	74,464	74,865	94,408
12	70,997	93,12	88,606	95,272
13	80,239	72,308	72,176	89,528
14	66,802	83,057	74,912	82,399
15	71,02	77,192	67,584	74,215
16	71,187	62,949	72,312	67,845
Průměr	71,595	81,439	75,394	79,475
Medián	71,730	80,868	74,480	80,858
Minimum	53,960	62,949	57,774	57,178
Dolní kvantil	67,147	73,386	70,394	72,939
Horní kvantil	79,128	88,297	77,413	87,443
Maximum	83,469	93,120	94,175	95,272
Celk. průměr	76,976			

Tab. 2-3 Naměřené hodnoty pro pastu SAC305 a poté Sn42Bi57Ag1

2.3.7 Série desek se směsí pasty SAC305 a bismutové

Z tabulky 2-4 se dá pozorovat, že průměrná síla potřebná k odtržení součástky je 84,494 N. Minimální síla je 62,654 N a maximální 107,590. Z toho se dá zjistit, že se síla pohybuje v rozmezí 45 N. Z tabulky je vidět, že je zde průměrná síla největší ze všech použitých past. Rovněž maximální hodnota je zde největší. U desek s touto směsí past bylo potřeba zvýšit rozsah měření z 100 N na 150 N. U tohoto měření byla na dvou deskách přehlédnuta chyba po zapájení, kdy nebyla zcela správně zapájena jedna strana rezistoru, to mělo za následek, že byla použita mnohem menší síla k odtržení součástky. Tyto síly nebyly uvažovány ve výpočtu kvůli zkreslení výsledku.

Při působení síly na součástku zapájenou pomocí této směsi, se pasta chová spíše jako bismutová. Nejdříve praskne tavidlo, poté samotná pasta, která se rozdrolí. I v tomto případě se stávalo, že byl rezistor vystřelen. To způsobovala větší použitá síla na součástku.

4x desky osazené pastou SAC305 + Bismut				
Rezistor	4_6 síla (N)	4_7 síla (N)	4_8 síla (N)	4_9 síla (N)
1	89,637	91,066	69,970	95,380
2	92,751	76,589	77,860	79,630
3	86,018	66,055	87,197	79,290
4	74,165	68,884	95,890	106,520
5	72,487	90,182	88,630	97,240
6	89,447	74,826	76,710	86,640
7	73,923	96,179	92,844	47,620
8	72,059	81,878	107,590	73,130
9	62,654	71,11	87,470	82,700
10	9,488	91,766	99,390	73,790
11	97,312	79,399	84,160	94,100
12	83,757	80,578	101,770	75,440
13	79,379	96,467	88,080	101,010
14	92,045	102,22	90,830	70,220
15	94,202	87,863	85,330	75,150
16	67,880	68,433	93,800	72,600
Průměr	74,737	83,371	89,220	81,904
Medián	83,757	81,228	88,355	79,630
Minimum	62,654	66,055	69,970	70,220
Dolní kvantil	73,205	72,968	84,745	74,470
Horní kvantil	90,841	91,416	94,845	97,740
Maximum	97,312	102,220	107,590	106,520
Celk. průměr	82,308			

Tab. 2-4 Naměřené hodnoty pro směs past SAC305 + Sn42Bi57Ag1

2.4 Práce na konektorech

Pro reálný příklad z praxe, ve kterém jsou vidět rozdíly mezi různými pastami, byl vybrán příklad na konektorech. Na těchto deskách bylo v provozu ve firmě SANMINA zjištěno, že jsou konektory více mechanicky namáhané a dochází k jejich poškození. Doba plné funkčnosti konektorů se zkrátila v případě, že byl na deskách prodělán proces reworku a konektory byly vyměněny za nové, ovšem s použitím jiné pasty, než se kterou byl připájen původní konektor.

Pokus, který byl proveden, tedy spočíval v tom, že bylo vzato 8 stejných desek, na kterých byl pastou SAC305 připájen konektor. Z těch to desek byl pomocí horkého vzduchu konektor odstraněn, konektor i kontakty na desce plošného spoje byly pomocí tavidla, pájky a měděné tkanice očištěny. První čtveřice desek byla znovu zapájena pastou SAC305, druhá čtveřice byla zapájena bismutovou pastou Sn42Bi57Ag1. Obě čtveřice pak byly zapájeny metodou přetavením v průchozí peci.



Obr. 2-21 Konektor na desce, který se bude odstraňovat

2.4.1 Odstranění konektorů za použití horkého vzduchu.

K odstranění konektorů z desky byla použita metoda horkého vzduchu. Pomocí ručního horkovzdušného nástroje od firmy JBC, který byl nastaven na teplotu 450°C a proud vzduchu 100%.



Obr. 2-22 Místo zahřívání

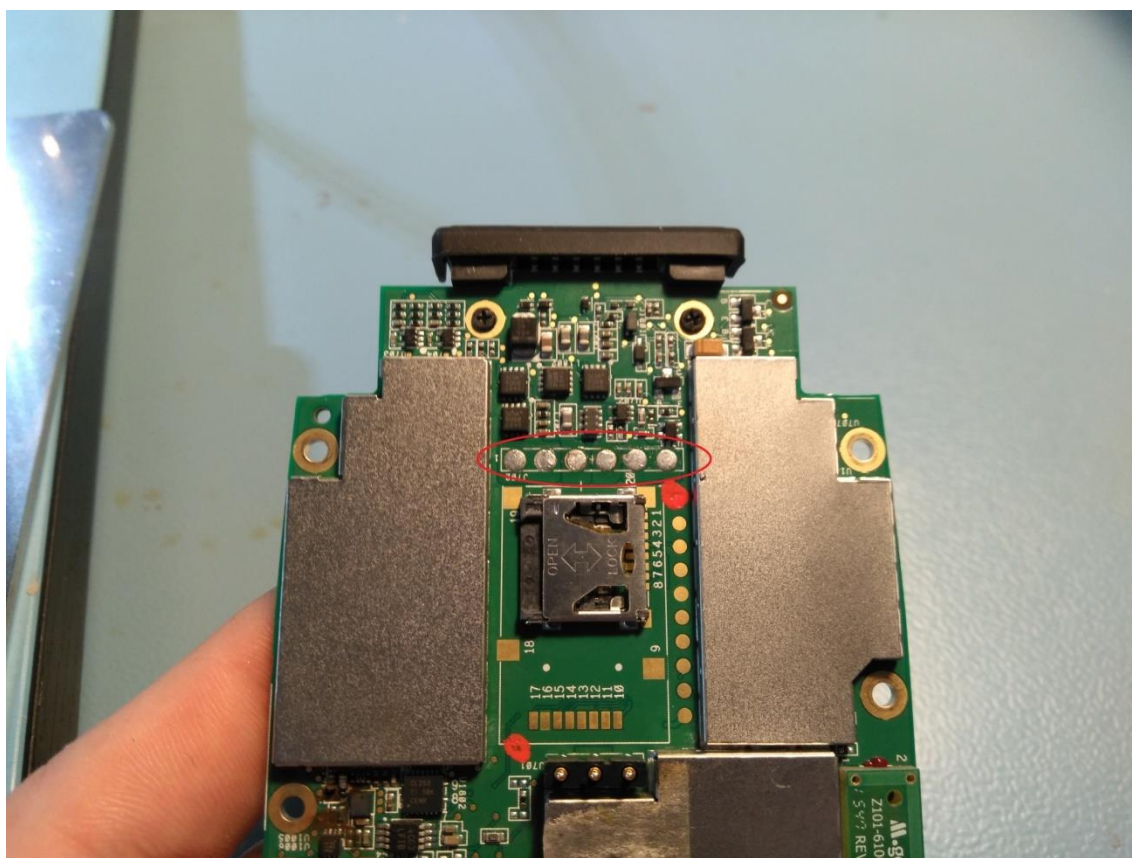
Postup byl takový:

1. Deska se položila na přítomný menší stoleček tak, aby konektor visel ve vzduchu a nedotýkal se stolu. Deska byla otočena tak aby z pohledu seshora nebyl konektor vidět, ale aby byla zadní strana desky (viz obrázek 2-22).
2. Do horkovzdušného nástroje se vybral vhodný nástavec, který upravoval sílu vzduchu.
3. Horkovzdušným nástrojem se přejíždělo přibližně 1-2 cm nad zadní stranou desky v místě, kde byl připájen konektor.
4. To se provádělo z důvodu menší šance na poškození plastových částí konektoru a také lepšímu přístupu horkého vzduchu k desce, která tím jak se zahřívala, zároveň zahřívala i připájené kontakty konektoru.

5. Bylo třeba dávat pozor, aby pohyb horkovzdušného nástroje byl rovnoměrný a proud horkého vzduchu nezůstával dlouho na stejném místě, to by mělo za následek poškození desky spálením. Také se nesmělo horkovzdušným nástrojem zahřívat příliš velkou oblast desky, to hrozilo tím, že by se mohly odpájet okolní SMD součástky a při 100% proudu vzduchu dokonce odfouknout z desky pryč.
6. V případě, že se začalo zahřívat v momentě, kdy byl horkovzdušný nástroj studený, tedy při pokojové teplotě, trvalo roztavení pájky přibližně 25 s.
7. Naopak v případě, že se horkovzdušný nástroj nevypnul, a tedy nezchladil, začalo se se zahříváním další desky, kdy doba roztavení trvala přibližně 20 s.
8. Po této době stačilo deskou pouze klepnout na menší stoleček a konektor sám odpadl.

2.4.2 Čištění kontaktů

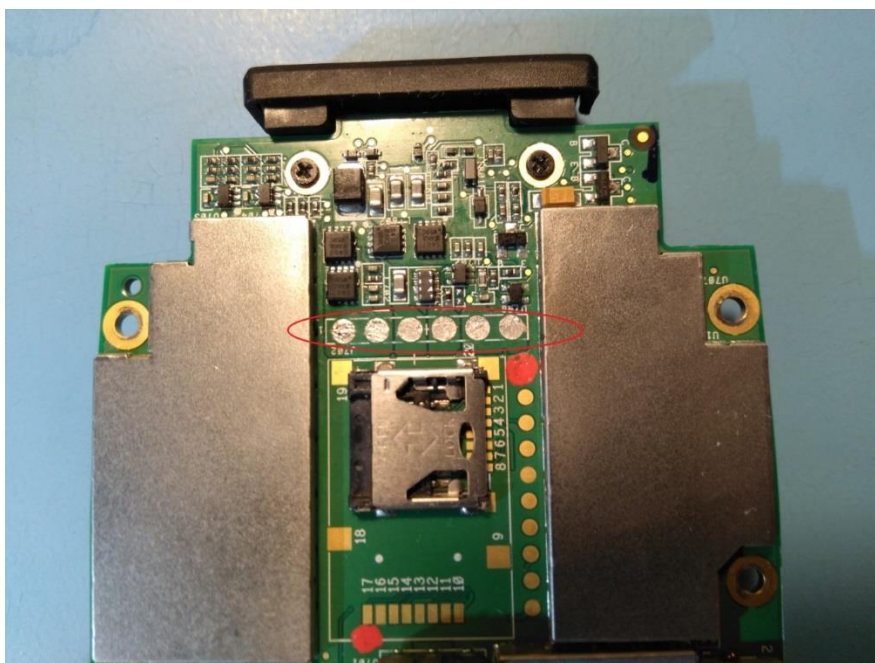
Po odpájení konektorů bylo potřeba očistit kontakty na desce i kontakty na konektorech, které se měly znovu připájet. K čištění byla opět zvolena ruční metoda za použití ruční páječky, tavidla a měděné tkanice. K čištění byla použita ruční pájka od firmy JBC nastavená na teplotu 385°C. Na obrázku 2-23 je vidět zbylý cín po odpadnutí konektoru.



Obr. 2-23 Pájecí plošky se zbytkovým cínem po odpájení konektoru

Postup čištění je následovný:

1. Nejprve bylo potřeba desku uchytit do držáku. K tomu byly použity 4 magnetické svorky.
2. Poté se na kontakty na desce nanalo tavidlo.
3. Měděné tkanice se položila do tavidla na kontaktech a pomocí rozpálené ruční pájky, která se přiložila na tkanici, se začalo s čištěním.
4. Vzhledem k velikosti kontaktů a mezerami mezi nimi se čistil kontakt po kontaktu.
5. Kontakty se čistily jemným přejížděním tkanice po kontaktu, a tím do sebe nasávala roztavený zbytkový cín.
6. Takto se pokračovalo na všechny kontakty.
7. U této metody se muselo dávat pozor na rychlé připájení vláken tkanice ke kontaktům. V takovémto případě se musela tkanice znovu nahřát pájkou, nejlépe s přidáním menšího množství tavidla.
8. V případě, že by se nepoužila pájka a vlákna tkanice se odtrhla, hrozilo nebezpečí stržení kontaktní plošky na desce, a tím znehodnocení celé desky.
9. Po očištění zbytkového cínu bylo potřeba odstranit také použité tavidlo, to se provedlo pomocí izopropylalkoholu a papírové utěrky.
10. Stejným způsobem se také očistily kontakty na konektoru, očištěná deska je vidět na následujícím obrázku.



Obr. 2-24 Detail očištěných pájecích plošek

2.4.3 Znovuosazení desky

Po odpájení a očištění desky i konektoru přišlo na řadu znovu konektor zapájet. Jako první byla zvolena čtveřice, která měla být zapájena bismutovou pastou. Postup pájení je stejný jak pro bismutovou pastu, tak pro pastu SAC305, jediný rozdíl spočívá v teplotním profilu pece, který je pro každou pastu jiný.

Postup nanášení pasty a pájení:

1. V tomto případě nebyla použita šablona a pájecí pasta se nanášela ručně, pomocí kovové špachtle.
2. Na připravené místo vedle desky se nanalo menší množství pasty, které sloužilo jako zásobník.
3. Pomocí špachtličky se špičatým hrotem se pasta ze zásobníku nanášela na kontakty.
4. Pasta se nanášela postupně na jednotlivé kontakty, nikoliv na všechny najednou.
5. Množství pasty bylo velmi malé (viz obrázek 2-25).
6. Na takto připravenou desku se opatrně osadil konektor. Při osazování konektoru pomohl nákres na desce k tomu, aby se konektor osadil přesně na to místo, kam měl.
7. Takto hotová deska se položila na pás trouby a na počítači se nastavil příslušný teplotní profil pro danou pastu. Pro bismutovou pastu byl použit profil s označením Sn42Bi57Ag1_Rez a pro pájecí pastu SAC305 byl použit teplotní profil s označením BGA_FR4_b.
8. Po projetí desky pecí a tedy zapájení konektoru se dané zapájení muselo otestovat. Nejlepší volbou byla kontrola okem a v případě pochybností pak kontrola pod mikroskopem. V případě, že byl konektor správně zapájený, mohly se stejným způsobem udělat zbylé 3 desky.
9. V případě bismutové pájecí pasty byla první deska v pořádku, a mohly se tedy stejným způsobem udělat zbylé tři desky.
10. V případě pájecí pasty SAC305 po projetí první desky bylo pod mikroskopem zjištěno, že konektor není dobře zapájen, a bylo potřeba proces odpájení a čištění konektorů i kontaktů na desce zopakovat a následně upravit teplotní profil tak, aby deska zůstala v peci déle. To se provedlo tak, že se zpomalil pás. Cesta jedné desky tedy netrvala 5:55 (minuty, sekundy), ale 7:26.
11. Po projetí desky s tímto teplotním profilem a po následné kontrole bylo vyhodnoceno, že úprava teplotního profilu zabrala a konektor je zapájený, tedy že se mohou poslat zbylé desky.



Obr. 2-25 Nanesená pájecí pasta na kontaktech

Teplotní profil pro bismutovou pastu je stejný jako při osazování navržených desek (viz obrázek 2-11).

Teplotní profil pro pastu SAC305 je stejný jako při osazování navržených desek (viz obrázek 2-10).

2.5 Zkouška stříhem na konektorech

Pro zkoušku stříhem na konektorech těchto desek, se musely desky nejprve velikostně upravit, aby se vešly do přístroje Dage. To se provedlo ručními nůžkami na plech, pomocí kterých se desky zkrátily na požadované rozměry.

Nastavení přístroje Dage bylo stejné jako v předchozích případech. Při zkoušce se konektory odtrhnout nepodařilo, a to z důvodu stáří přístroje, který vydržel pouze sílu do cca 115 N, poté se začal posouvat i stoleček, který byl přisátý vakuem, a tlak přisátí nebyl dostatečně silný, aby udržel stoleček s deskou na místě. Na stoleček se přitlačilo prsty v protisměru trhání a díky tomu se dokázala síla vyšplhat až na 250 N, poté už nebylo možné stoleček dále prsty přidržovat.

Konektor se tedy odtrhnout nepodařilo. Důvodů, proč konektor zůstal na desce, může být hned několik.

- 1) Trhací nástroj byl příliš malý a nedokázal tlačit po celé ploše konektoru.
- 2) Hrana trhacího nástroje byla ve výšce 100 μm nad deskou, a tím tedy působila silou na jiné místo, než působí na konektor v běžném provozu.

V běžném provozu je zatěžována především horní polovina konektoru, tedy působí jiné síly na pevnost spoje a konektor tak může být náchylnější na odtržení.

2.6 Výbrus

Výbrus je označení procesu, při kterém se brousí deska plošných spojů, součástka a pájený spoj na brusném kotouči, přibližně do poloviny pájeného spoje. Tato metoda slouží ke zjištění závad uvnitř spoje, které nejsou na povrchu vidět. Používá se ke zjištění závad, jako jsou praskliny nebo voidy uvnitř pájeného spoje. Tato metoda se také používá k pomoci při zjišťování krystalické struktury pájky. Proces výbrusu je destruktivní metoda.

2.6.1 Postup výbrusu

Proces výbrusu je rozdělen do několika kroků, které se neustále opakují, dokud není výbrus dokončen. Zařízení, na kterém je výbrus prováděn, je na obrázku číslo 2-26.



Obr. 2-26 zařízení pro výbrus

Postup výbrusu:

- 1) Nejdříve se do zařízení vloží brusný kotouč, který má za úkol hrubě odbrousit část desky a součástky do hloubky přibližně jedné čtvrtiny pájeného spoje.
- 2) Na roztočený brusný kotouč začne z nádržky kapat demineralizovaná voda, aby odbrušovaná deska neprášila. Frekvence kapek se dá regulovat ventilem. Brusný kotouč se může točit různými rychlostmi. Vyšší rychlost znamená rychlejší odbrušování, ale také větší nebezpečí odtržení součástky a větší zahřívání. Zahřívání se dá regulovat přidáním demineralizované vody.
- 3) Po odbroušení $\frac{1}{4}$ pájeného spoje, se brusný kotouč vymění za leštící, který je mnohem jemnější a slouží k odstranění rýh po brusném kotouči.
- 4) Tento leštící kotouč je také po čase vyměněn, za ještě jemnější. Celkem se postupně vystřídají 3-4 leštící kotouče, záleží, jak moc je požadováno, odstranění rýh.
- 5) Jako poslední se nasadí kotouč, který slouží pouze jako nosič leštící pasty.

3. TEPLOTNÍ CYKLOVÁNÍ – DRUHÁ POLOVINA DESEK

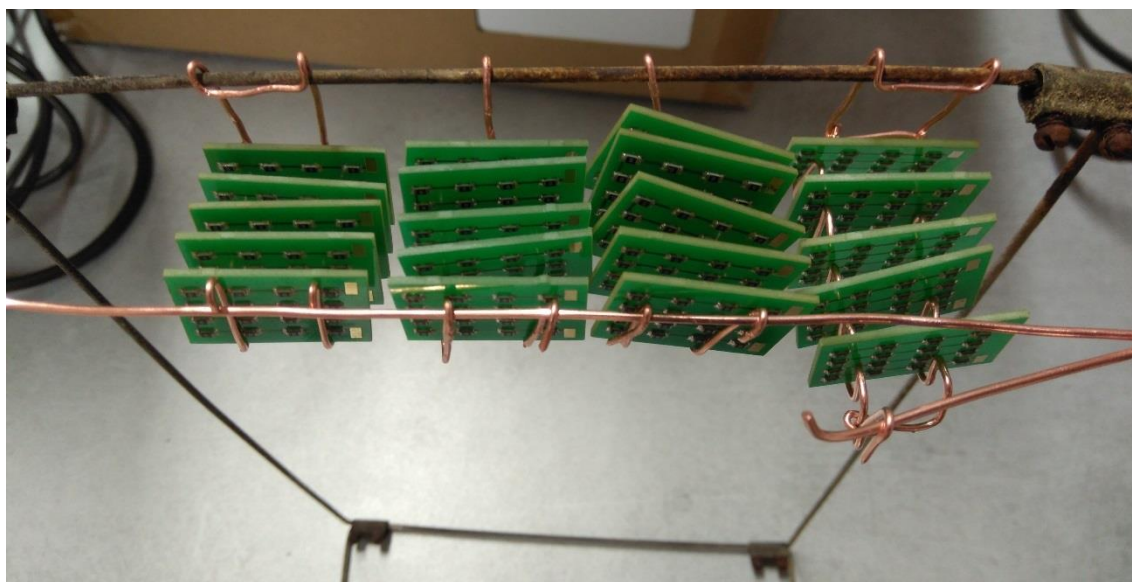
V této kapitole je vysvětlen základní popis procesu teplotního cyklování. Jsou zde uvedeny důvody, proč se teplotní cyklování využívá. Dále je zde popsána praktická ukázka teplotního cyklování na vytvořených deskách a vyhodnocení rozdílu po zkoušce stříhem oproti deskám, které teplotní cyklování neprodělaly. Teplotním cyklováním se zkoumá chování pájky, která je vystavená měnící se teplotě.

3.1 Postup cyklování

Počet kusů desek, které se podrobily teplotnímu cyklování, byl zvolen 5 z každé série. Desky se do přístroje pro teplotní cyklování vkládají zavěšené na drátovém modelu kvádry. Proto bylo nejprve důležité vyrobit držáky, do kterých by se vložily desky, a celé se to pověsilo na drátový model. Po zavěšení desek a vložení do přístroje se na obslužném PC nastavil průběh testování. Nastavovala se hodnota minimální teploty, maximální teploty a doba těchto úseků i přechodů mezi minimem a maximem.

3.1.1 Výroba držáků

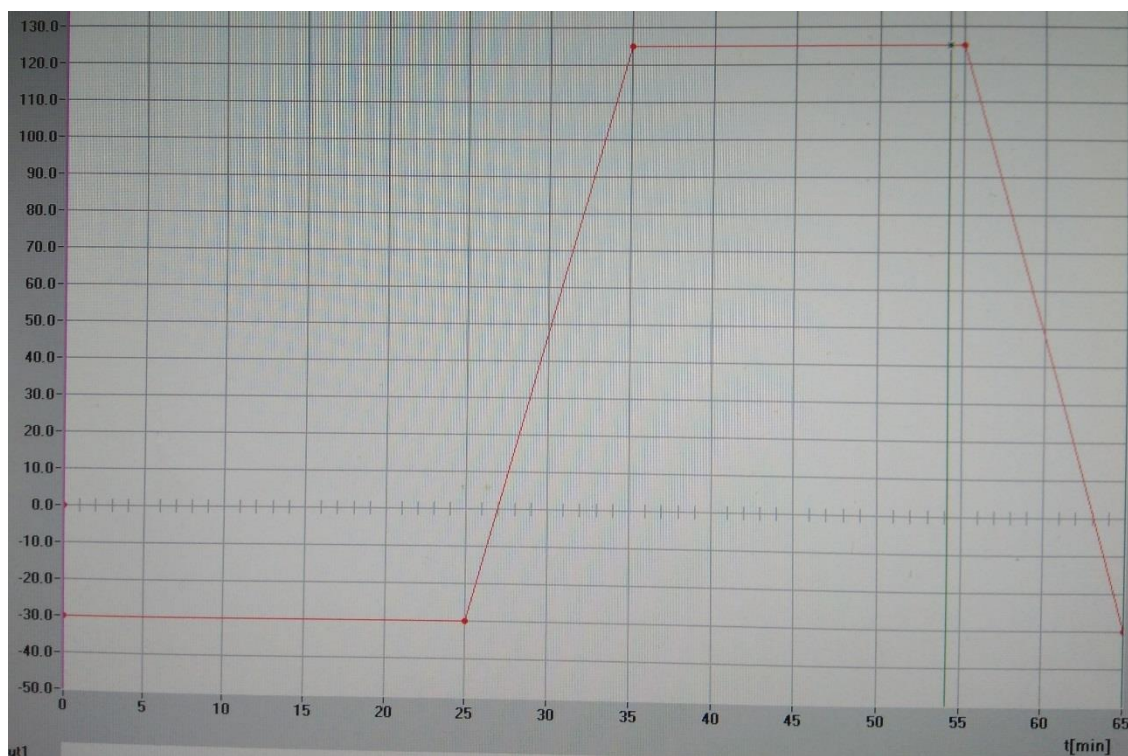
Držáky byly vyrobeny z měděného drátu, který byl zbaven plastové izolace. Drát se zvolil z důvodu, že není teplotní izolant a zároveň nezabírá velkou plochu, která by překážela přístupu vzduchu k deskám. Vyrobený držák s deskami zavěšený na drátovém modelu je vidět na následujícím obrázku. Takto připravený model se při pokojové teplotě vloží do přístroje a na počítači se nastaví teploty cyklování.



Obr. 3-1 Zavěšené držáky s deskami

3.1.2 Nastavení průběhu

Pomocí obslužného počítače, se nastavil průběh teplotního cyklu. Byl zvolen rozsah teplot, minimální teplota -30°C a maximální teplota 125°C . Na obrázku 33 je vidět daný průběh graficky. Z něj se dá pozorovat, že na teplotě -30°C se teplota nechá 25 minut, poté během 10 minut vystoupá na 125°C , kde se udržuje 20 minut a poté během 10 minut teplota spadne opět na -30°C . Po sečtení doby vychází, že jeden cyklus trvá 65 minut. Dále je potřeba nastavit počet cyklů. Ten byl z nedostatku času, zvolen pouze na 350 cyklů.



Obr. 3-2 Nastavený průběh teplotního cyklování

3.1.3 Zkouška stříhem na deskách po teplotním cyklování

Po uplynutí 350 cyklů se na deskách, které byly podrobeny teplotnímu cyklování, také provede zkouška stříhem. Ta se provádí stejným způsobem, jako je popsáno v kapitole 2.3. Zkoušce stříhem byly podrobeny pouze 4 desky z každé série. Na páté desce byl proveden výbrus.

Hodnoty ze zkoušky jsou zpracovány stejným způsobem, jak popisuje podkapitola 2.3.3. V případě, že se na desce vyskytla chyba, která zkreslovala výsledek, tato hodnota byla zaznamenána, ale je označena červeným rámečkem a do statistických výpočtů není zahrnuta.

3.1.4 Série desek s pastou SAC305 po teplotním cyklování

Z tabulky 3-1 se dá pozorovat, že průměrná síla potřebná k odtržení součástky je 54,665 N. Minimální síla je 38,106 N a maximální pak 66,172 N. Z toho je vidět, že se síla pohybuje v rozmezí 26 N.

Po teplotním cyklování se na jednom rezistoru objevil tombstone, tedy nadzvednutá strana součástky. Pasta SAC305 se po teplotním cyklování chová stejně jako u desek bez podrobení teplotnímu cyklování popsaném v podkapitole 2.3.4. Jediný pozorovatelný rozdíl je ve větším množství tavidla přítomného na desce mezi kontakty rezistorů. Po odtrhnutí součástky je na desce větší množství zbytkového tavidla a pájky ve formě malých fragmentů.

4x desky osazené pastou SAC305				
Rezistor	1_1 síla (N)	1_2 síla (N)	1_3 síla (N)	1_4 síla (N)
1	43,033	49,843	59,863	50,356
2	48,204	52,415	43,036	45,819
3	62,545	55,727	59,233	55,071
4	55,661	48,543	45,924	56,038
5	58,388	55,038	60,517	60,280
6	58,996	66,172	54,680	57,657
7	62,109	55,742	60,167	53,824
8	59,198	56,493	60,797	51,703
9	37,195	43,324	56,809	38,106
10	55,380	60,288	60,988	56,949
11	61,031	61,28	57,672	58,159
12	49,282	47,126	54,424	66,035
13	51,337	52,804	63,218	51,831
14	56,711	60,28	64,471	60,031
15	58,151	57,451	50,516	51,302
16	54,330	45,943	39,845	53,197
Průměr	54,472	54,279	55,760	54,147
Medián	56,711	55,383	58,453	54,448
Minimum	43,033	43,324	39,845	38,106
Dolní kvantil	52,834	49,193	52,470	51,503
Horní kvantil	59,097	58,867	60,657	57,908
Maximum	62,545	66,172	64,471	66,035
Celk. průměr	54,665			

Tab. 3-1 Naměřené hodnoty pro pastu SAC305, po teplotním cyklování

3.1.5 Série desek s bismutovou pastou po teplotním cyklování

Z tabulky 3-2 se dá pozorovat, že průměrná síla potřebná k odtržení součástky je 70,625 N. Minimální síla je 46,375 N a maximální pak 92,140 N. Z toho je vidět, že se síla pohybuje v rozmezí 46 N.

Bismutová pasta se po teplotním cyklování při zkoušce stříhem chová stejně jako v případě desek bez teplotního cyklování popsaném v podkapitole 2.3.5. Také zde je vidět tavidlo mezi kontakty. Je ho ale podstatě menší množství než tomu bylo u pasty SAC305. Po odtrhnutí součástky jsou na desce také přítomny fragmenty pájky a tavidla, ale v daleko menším množství než u pájky SAC305.

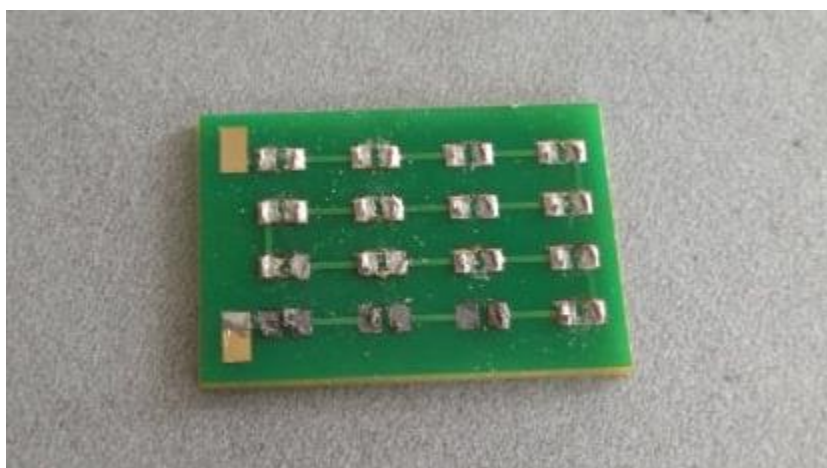
4x desky osazené bismutovou pastou				
Rezistor	2_1 síla (N)	2_2 síla (N)	2_3 síla (N)	2_4 síla (N)
1	66,779	73,635	51,858	74,729
2	60,428	82,718	51,757	66,452
3	67,032	81,387	67,728	76,827
4	59,926	90,182	86,158	92,140
5	73,102	72,324	62,980	83,493
6	66,238	74,110	79,905	78,796
7	66,020	68,226	70,658	73,791
8	72,748	71,090	80,975	87,283
9	53,843	75,854	56,259	69,098
10	82,742	74,604	80,333	87,493
11	57,707	71,141	74,285	67,588
12	67,121	81,644	60,233	65,004
13	73,838	84,333	53,711	84,076
14	60,813	81,983	53,847	70,036
15	57,789	62,202	46,375	69,907
16	67,654	76,075	59,260	61,685
Průměr	65,861	76,344	64,770	75,525
Medián	66,509	75,229	61,607	74,260
Minimum	53,843	62,202	46,375	61,685
Dolní kvantil	60,178	71,733	53,779	68,343
Horní kvantil	70,201	81,814	77,095	83,785
Maximum	82,742	90,182	86,158	92,140
Celk. průměr	70,625			

Tab. 3-2 Naměřené hodnoty pro bismutovou pastu, po teplotním cyklování

3.1.6 Série desek původně s pastou SAC305 a poté s bismutovou pastou po teplotním cyklování.

Z tabulky 3-3 se dá pozorovat, že průměrná síla potřebná k odtržení součástky je 74,588 N. Minimální síla je 50,742 N a maximální pak 87,762 N. Z toho je vidět, že se síla pohybuje v rozmezí 37 N.

Bismutová pájka se po teplotním cyklování chová stejně jako v předchozím případě, a tedy i stejně jako v případě desky bez teplotního cyklování popsaném v podkapitole 2.3.6. Mezi kontakty je vidět tavidlo, ale také kuličky pájky. V případě dvou desek byla spodní řada rezistorů zasažena větší teplotou a pájky na nich byla zcela spálená. Na obrázku 34 jsou vidět kontakty na desce po spálené pastě. Rezistory s touto spálenou pastou byly velice snadno odtrhnutelné, přístroj ani nezaznamenal žádnou hodnotu síly. Desky z této série byly také zkřivené, to bylo způsobeno teplotním šokem. K tomu to šoku pravděpodobně došlo při odstraňování rezistorů, které je popsáno v podkapitole 2.2.6. Teplotní cyklování pomohlo tento šok odhalit.



Obr. 3-3 Deska s kontakty po spálené pastě

4x desky osazené pastou SAC305 a poté Bismut				
Rezistor	3_1 síla (N)	3_2 síla (N)	3_3 síla (N)	3_4 síla (N)
1	71,452	79,204	75,344	84,547
2	57,816	81,212	68,468	76,122
3	77,570	79,446	68,810	74,675
4	53,641	67,428	69,748	87,762
5	78,831	81,660	74,628	70,102
6	82,648	81,029	79,959	82,637
7	80,500	72,211	79,411	82,360
8	74,904	71,433	81,500	86,882
9	57,992	73,838	50,742	73,947
10	84,232	81,893	63,272	74,768
11	83,154	79,942	64,996	76,908
12	80,625	72,935	79,714	83,220
13	-	64,269	83,018	68,584
14	-	75,721	69,102	72,534
15	-	10,305	57,890	76,437
16	75,570	6,215	64,051	77,274
Průměr	73,764	75,873	70,666	78,047
Medián	77,570	77,463	69,425	76,673
Minimum	53,641	64,269	50,742	68,584
Dolní kvantil	64,722	72,211	64,534	74,311
Horní kvantil	81,637	81,029	79,563	82,929
Maximum	84,232	81,893	83,018	87,762
Celk. průměr	74,588			

Tab. 3-3 Naměřené hodnoty pro pastu SAC305 a poté Sn42Bi57Ag1, po teplotním cyklování.

3.1.7 Série desek se směsí SAC305 a Sn42Bi57Ag1 po teplotním cyklu

Z tabulky 3-4 se dá pozorovat, že průměrná síla potřebná k odtržení součástky je 70,805 N. Minimální síla je 33,522 N a maximální pak 114,520 N. Z toho je vidět, že se síla pohybuje v rozmezí 81 N.

Směs pájecích past se chová odlišněji než v případech desek, které nebyly podrobeny teplotnímu cyklování. Pájka se chová tak, že bez varování praskne. Není vidět ani slyšet praskot tavidla. Ani není vidět, že by se rezistor v pájce posunul. Rozmezí sil je 81 N, tedy nejde moc dobře předpovědět, kdy pájka praskne. Ve většině případů byl rezistor vymrštěn z desky. Na pájecích ploškách zůstává velmi malé množství pájky. Na desce zůstává velmi malé množství fragmentů tavidla a pájky.

4x desky osazené pastou SAC305 + Bismut				
Rezistor	4_1 síla (N)	4_2 síla (N)	4_3 síla (N)	4_4 síla (N)
1	41,274	53,119	62,117	60,780
2	37,658	73,274	90,650	73,300
3	85,621	83,43	95,121	83,130
4	65,101	97,821	114,520	82,330
5	53,610	60,077	81,998	53,970
6	43,445	78,154	82,320	49,720
7	81,041	93,05	83,205	70,820
8	96,887	90,999	89,470	94,090
9	58,334	57,805	63,393	50,040
10	58,490	72,519	89,540	50,660
11	61,474	62,342	89,276	71,050
12	56,431	65,806	72,630	47,290
13	33,522	73,764	58,167	98,790
14	55,240	74,141	93,860	73,070
15	64,090	76,881	84,567	56,690
16	58,610	79,107	35,528	62,940
Průměr	61,383	74,022	80,398	67,417
Medián	58,412	73,953	84,567	66,880
Minimum	33,522	53,119	58,167	47,290
Dolní kvantil	48,528	64,074	77,314	52,315
Horní kvantil	64,596	81,269	90,095	77,815
Maximum	96,887	97,821	114,520	98,790
Celk. průměr	70,805			

Tab. 3-4 Naměřené hodnoty pro směs past SAC305 + Sn42Bi57Ag1, po teplotním cyklování.

4. VYHODNOCENÍ A ZÁVĚR

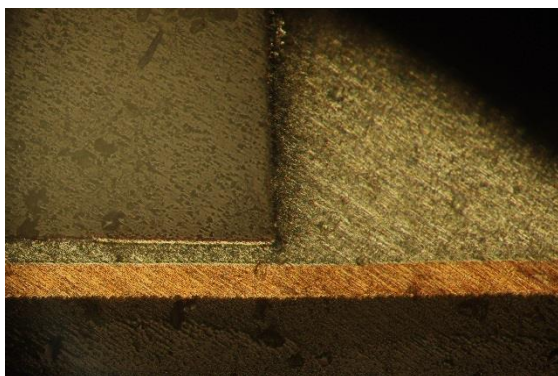
4.1 Zkoumání past pod mikroskopem

Desky, které byly podrobeny výbrusu, se dále zkoumaly pod mikroskopem. Nejprve byl výbrus nafocen na běžném mikroskopu a byly porovnávány vizuální rozdíly jednotlivých past, případně změny na spoji po teplotním cyklu.

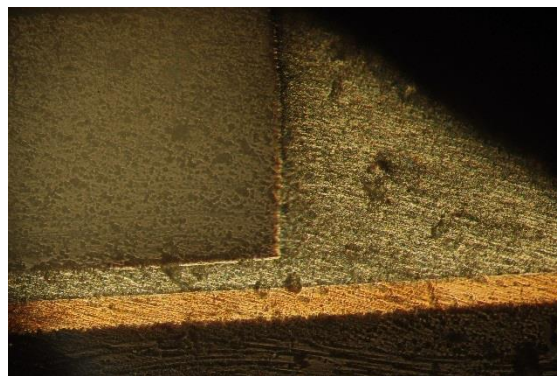
Poté byly desky, které neprodělaly proces teplotního cyklování, zkoumány pod elektronovým mikroskopem tzv. EDX analýza. Zde bylo zkoumáno složení pájeného spoje.

4.1.1 Běžný mikroskop

Z následujících obrázků se dají porovnat vizuální rozdíly mezi jednotlivými pájenými spoji.

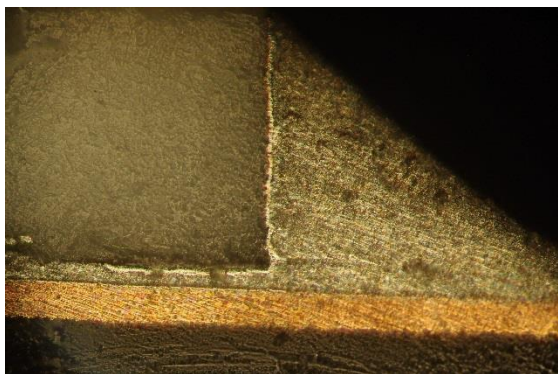


Obr. 4-1 Pasta SAC305 po teplotním cyklování.

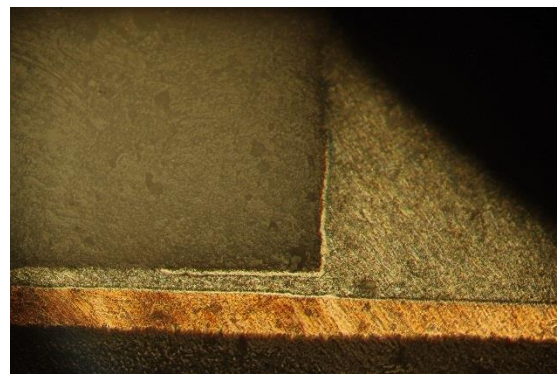


Obr. 4-2 Pasta SAC305 bez teplotního cyklování.

Z obrázků 4-1 a 4-2 se dají porovnat rozdíly pájeného spoje pasty SAC305. Spoj, který neprodělal teplotní cyklování, má v sobě díry neboli voidy.

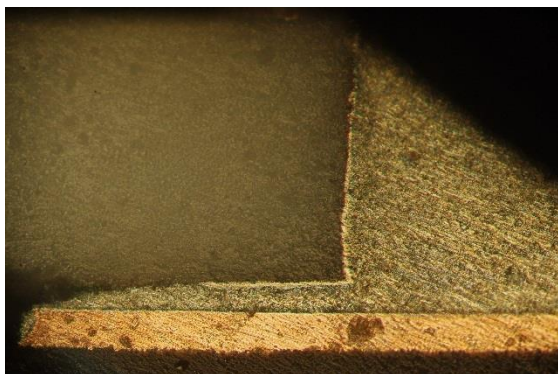


Obr. 4-3 Pasta Sn42Bi57Ag1 po teplotním cyklování.



Obr. 4-4 Pasta Sn42Bi57Ag1 bez teplotního cyklování.

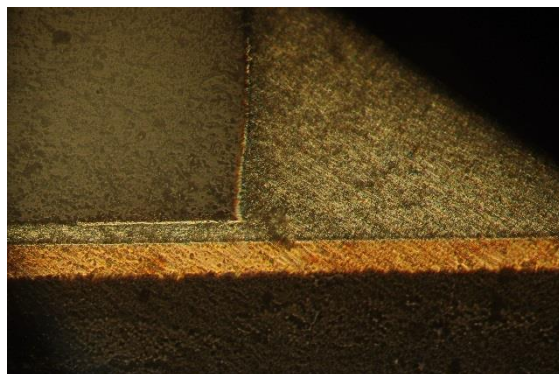
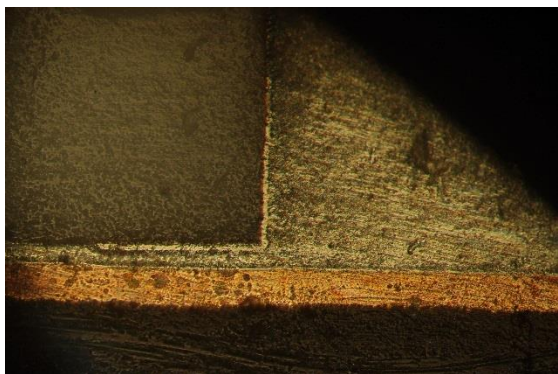
Z obrázků 4-3 a 4-4 se dá pozorovat, že u bismutové pasty má voidy deska, která prodělala teplotní cyklování.



Obr. 4-5 Pasta SAC305 → Sn42Bi57Ag1 po teplotním cyklování.

Obr. 4-6 Pasta SAC305 → Sn42Bi57Ag1 bez teplotního cyklování.

Na obrázkách 4-5 a 4-6 je pájený spoj na deskách, které byly nejdříve osazeny pastou SAC305 a poté pastou Sn42Bi57Ag1. Je zde vidět, že na desce, která neprodělala teplotní cyklus, je více voidů.



Obr. 4-7 Směs past SAC305 + Sn42Bi57Ag1 po teplotním cyklování.

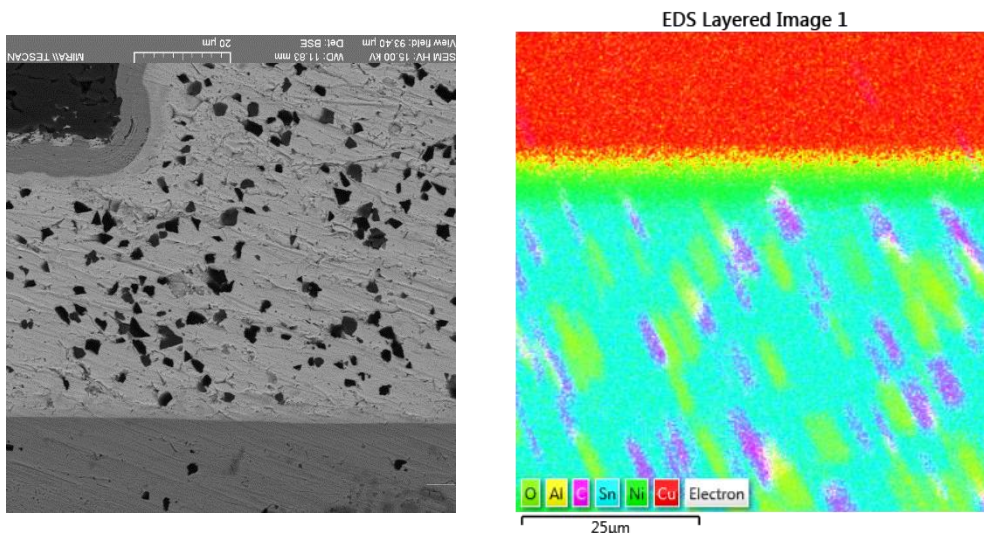
Obr. 4-8 Směs past SAC305 + Sn42Bi57Ag1 bez teplotního cyklování.

I na obrázkách 4-7 a 4-8 se vyskytují voidy uvnitř pájeného spoje.

Na první pohled není vidět rozdíl mezi jednotlivými pastami. Ani se nedá přesně určit, jestli se voidy objevují více v deskách po teplotním cyklování, nebo v deskách bez něj. Proto, aby se dalo určit, jestli má teplotní cyklování vliv na tvorbu voidů, by bylo potřeba více vzorků.

4.1.2 Elektronový mikroskop

Na elektronovém mikroskopu byly zkoumány desky, které nebyly podrobeny teplotnímu cyklování. Následující obrázky dovolují nahlédnout do struktury pájeného spoje a zjistit, jaké materiály se v něm objevují. Před vložením desek do mikroskopu, musely být desky vyčištěny pomocí izopropylalkoholu. Kovové části držáku i většina desky kromě zkoumaného výbrusu se polepily uhlíkovou páskou, aby se vodivě propojil držák mikroskopu s držákem desek.

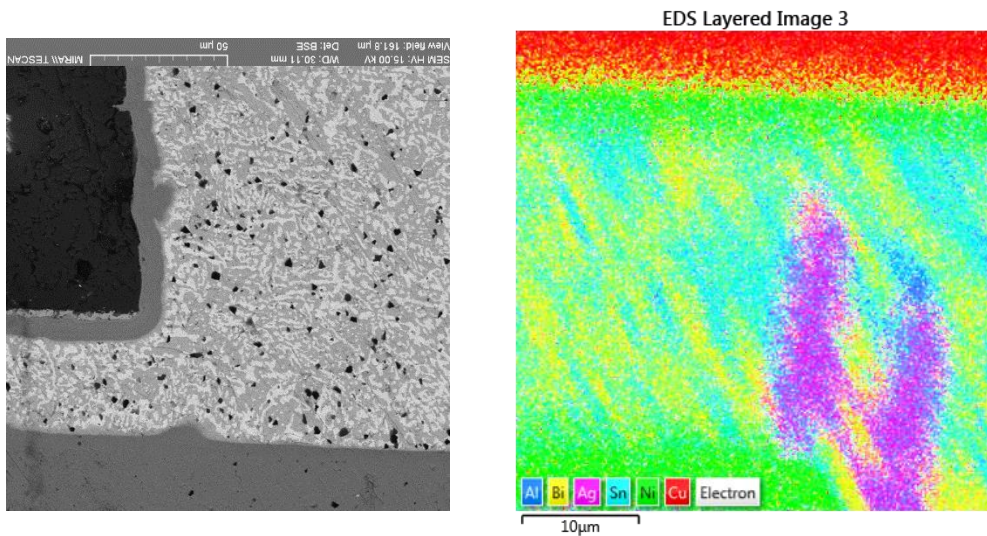


Obr. 4-9 Pasta SAC305, makro pohled

Obr. 4-10 Pasta SAC305, složení spoje

Na obrázku 4-9 je vidět detail pájeného spoje na elektronovém mikroskopu. Černé tečky uvnitř spoje jsou části brusného materiálu, který se do spoje dostal při broušení.

Na obrázku 4-10 je pak složení pájeného spoje. Dá se pozorovat, že největší složka je cín. Intermetalická vrstva je pak složena především z niklu, který je tam přítomen, díky povrchové úpravě desky při výrobě.

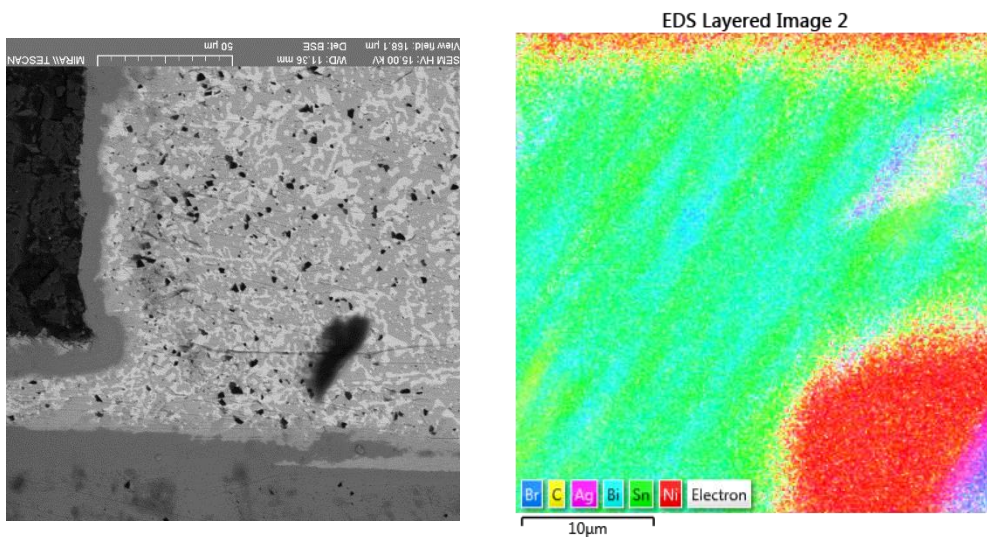


Obr. 4-11 Pasta Sn42Bi57Ag1, makro pohled

Obr. 4-12 Pasta Sn42Bi57Ag1, složení spoje

Z obrázku 4-11 se dá pozorovat, že přítomnost částic brusného materiálu je menší, než je tomu v případě pájky SAC305. Složení pájky na obrázku 4-12 obsahuje vyrovnaný poměr cínu a bismutu, s přítomností stříbra. Intermetalická vrstva je opět složená především z niklu.

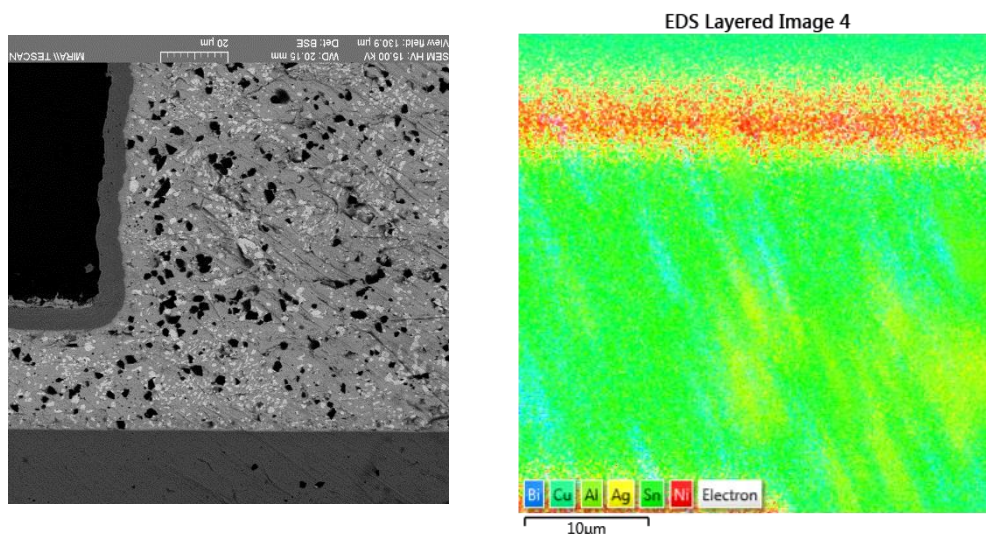
Z obrázků 4-9 a 4-11 je na první pohled vidět rozdíl mezi pastami SAC305 a Sn42Bi57Ag1.



Obr. 4-13 Pasta SAC305 → Sn42Bi57Ag1, makro pohled

Obr. 4-14 Pasta SAC305 → Sn42Bi57Ag1, složení spoje

Z obrázků 4-11 a 4-13 není na první pohled vidět rozdíl. Oba tyto spoje jsou zapájeny stejnou pastou. I z obrázků 4-12 a 4-14 je možno pozorovat přibližně stejné poměry cínu a bismutu.



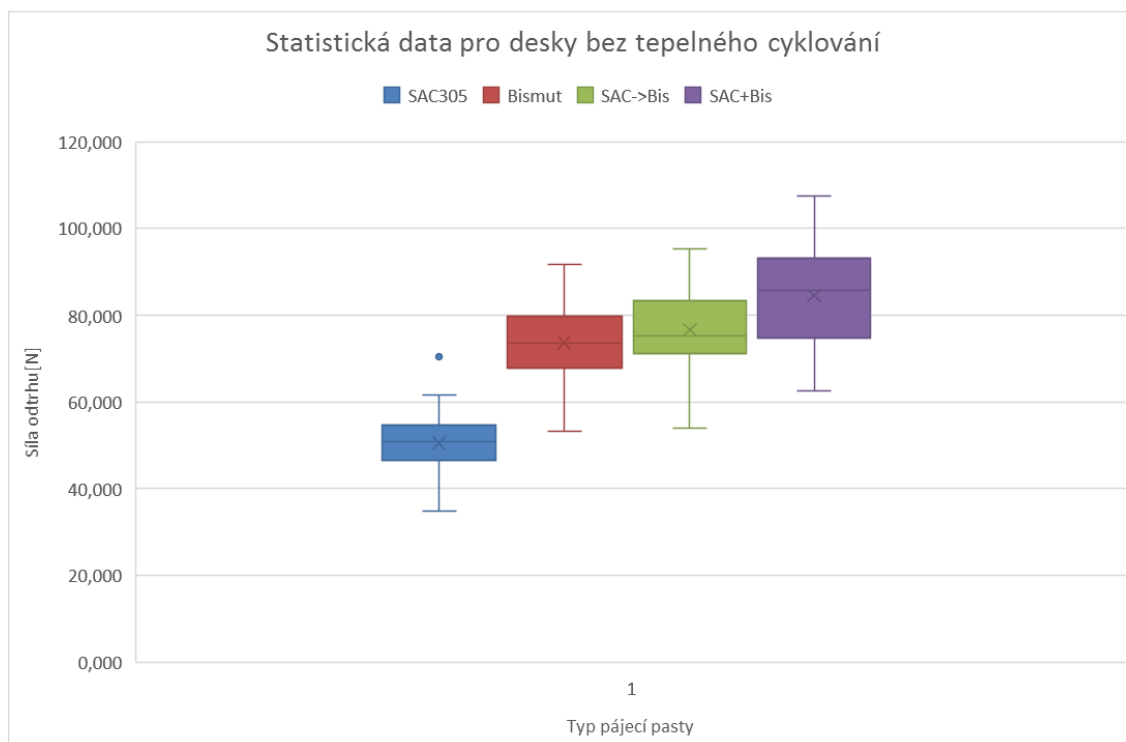
Obr. 4-15 Směs SAC305 + Sn42Bi57Ag1, makro pohled

Obr. 4-16 Směs SAC305 + Sn42Bi57Ag1, složení spoje

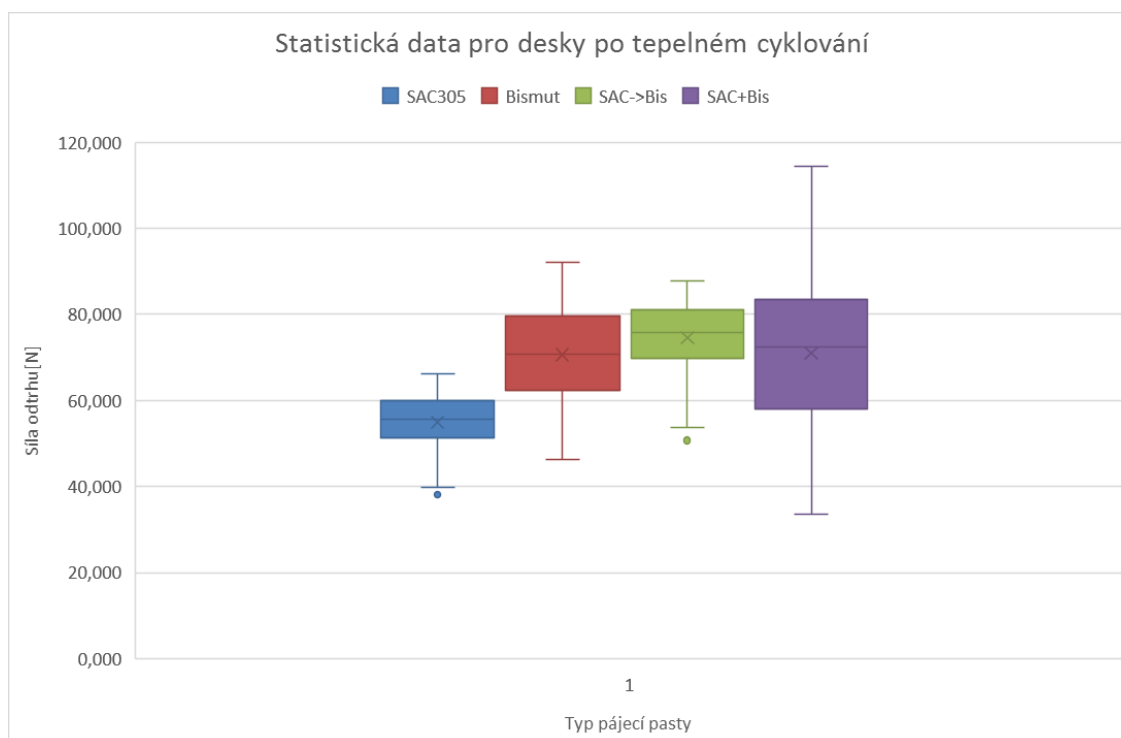
Z obrázku 4-15 je na první pohled vidět rozdíl mezi ostatními druhy past. Je zde také přítomno více částic brusných materiálů než v případě bismutové pájky. Na obrázku 4-16 je vidět, že ve složení pájky převládá cín, který je zastoupen v obou pastách. Dále je zde viditelný bismut. Intermetalická sloučenina je vytvořená z niklu a stříbra.

4.1.3 Statistická data - grafy

V následujících grafech jsou zpracována statistická data z tabulek. Lze pozorovat rozdíly mezi jednotlivými pastami. Na obrázku 4-17 je graf síly odtrhu pro desky bez teplotního cyklování. Na obrázku 4-18 je graf s deskami které prodělaly teplotní cyklování.



Obr. 4-17 Statistický graf mechanické síly pro desky bez teplotního cyklu.



Obr. 4-18 Statistický graf mechanické síly pro desky po teplotním cyklu.

4.2 Vyhodnocení

Na základě proběhlých pokusů, výsledných grafů, tabulek a poznatků ze zkoumání pod mikroskopem lze odvodit tyto závěry.

- 1) Vlastnosti a chování pasty SAC305: Po zapájení rezistorů touto pastou vznikaly na deskách chyby (tombstone), tedy nadzvednuté části součástek. Tato pasta je nejméně odolná při zkoušce stříhem. Z grafů se dá pozorovat, že rozsah sil je mezi 40 – 60 N, což dělá nejužší pásmo ze všech testovaných past. Z obou grafů je také vidět, že je rozdíl mezi deskami, které prošly teplotním cyklováním a deskami, které neprodělaly tento proces. U desek, po teplotním cyklováním se zvětšila síla potřebná k odtrhu o přibližně 5 N. Pásmo sil zůstalo přibližně stejné. Chování pasty při zkoušce stříhem je stejné jako chování pasty na deskách bez podrobení teplotního cyklu. Z fotek po výbrusu a zkoumání pod mikroskopem je vidět, že v pájených spojích jsou viody. U desek po teplotním cyklu je jich méně než v případě, druhé poloviny desek. Složení pasty zkoumané pod elektronovým mikroskopem potvrzuje, že dominantní složkou pájky je cín. Desky, u kterých došlo k přepájení, mají šířku pásma přibližně stejné jak před teplotním cyklem, tak po něm.
- 2) Vlastnosti a chování bizmutové pasty Sn42Bi57Ag1: Při kontrole po zapájení součástek, nebyly nalezeny žádné případy tombstone, a to ani na deskách, které byly nejdříve zapájeny pastou SAC305 a chyby se tam objevily. Je vidět menší rozdíl mezi deskami, které byly zapájeny pouze bizmutovou pastou, a deskami, které byly zapájeny nejdříve pastou SAC305 a poté bizmutovou. Desky po přepájení mají o něco větší odolnost proti odtrhu. Desky zapájené pouze bizmutovou pastou po teplotním cyklování mají širší pásmo sil, než je tomu v případě desek bez teplotního cyklu. V obou případech se v pájeném spoji vyskytují viody. Dominantní složka pájky je v obou případech stejná většinový podíl cínu a bismutu s prvky stříbra.
- 3) Vlastnosti a chování směsi pasty SAC305 a Sn42Bi57Ag1: Po zapájení a následné kontrole desek byly nalezeny případy tombstone, ale v podstatně menší míře, než tomu bylo u čisté SAC305. Z tabulek a grafů lze pozorovat, že desky s touto směsí mají nejširší pásmo sil. U desek po teplotním cyklování je ještě o něco širší. V tomto případě také došlo ke změně chování při zkoušce stříhem. I v této směsi vznikají uvnitř spoje viody. Tato směs je složená z drtivě většiny z cínu, menší složku pak představuje bismut.

4.3 Závěr

V této práci byly prozkoumány metody a procesy pro ověření vlastností pájecích past SAC305 a bizmutové Sn42Bi57Ag1. Během této práce jsem se seznámil s procesy, návrhu desky plošného spoje, navrhnutí šablony, nanesení pasty na desku přes šablonu, osazení součástek, zapájení v průtažné peci, kontrole desek po zapájení, opravy chyb, s procesem reworku, znovu osazení součástek, zkoušce stříhem, teplotnímu cyklování, výbrusu a zkoumání pod elektronovým mikroskopem. Všechny tyto procesy jsem prováděl osobně, postupy a hodnoty z testů jsem zaznamenával a postupně zpracovával.

Tyto procesy jsem prováděl proto, abych zjistil chování jednotlivých past a byl schopen identifikovat důvod, proč na reálných deskách z firmy SANMINA mají spoje na konektorech po procesu reworku a zapájení pastou Sn42Bi57Ag1 tendenci mít menší pevnost, než s původní pastou SAC305.

Z výsledných hodnot by tomu tak být nemělo, ale existují důvody, proč se tomu tak děje. Jeden ze zjištěných důvodů může být to, že pájený spoj s pastou SAC305 je mnohem flexibilnější a měkčí než spoj s pastou Sn42Bi57Ag1. Toto je vidět např. na obrázku 4-9 a 4-11, kdy je jasně vidět, že spoj s pastou SAC305 obsahuje více částí brusného materiálu. Také je to vidět z popisu chování past při působení síly, pasta SAC305 je opět mnohem flexibilnější než bizmutová pasta. Z těchto důvodů lze odvodit, že menší odolnost pájeného spoje s pastou Sn42Bi57Ag1 je způsobena, tím že při působení síly na konektor v provozu, tedy kdy je deska používána. Síla nepůsobí na desce v místě pájeného spoje, ale spíše na špičkách pinů konektoru a tedy pasta, která je sice pevnější, ale také tvrdší praská a konektor se uvolňuje, kdežto pasta, která je měkčí a flexibilnější, odolává.

LITERATURA

- [1] Radioklub OK7KM. Pájení přetavením. *[Radioklub OK1KVK]* [online]. Radioklub OK1KVK, 2013, 27.10.2013 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://ok1kvk.cz/clanek/2013/pajeni-pretavenim/>
- [2] Pájka. *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. San Francisco [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/P%C3%A1jka>
- [3] Pájení. *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. San Francisco [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/P%C3%A1jen%C3%AD>
- [4] Olovnaté a bezolovnaté pájky. *Kondik* [online]. Liberec: Lukáš Hliněný, 2019, 01.02.2019 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.kondik.cz/olovnata-a-bezolovnata-pajka>
- [5] SZENDIUCH, Ivan. Pájení a bezolovnaté pájky. *Printed* [online]. Mělník: Doc. Ing. Ivan Szendiuch, Csc, 2008, 12.8.2008 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.printed.cz/assets/photos/pb-free.pdf>
- [6] PEŠKA, Robert. Pájení bez olova vyžaduje kvalitnější páječky, pomohou digitální stanice. *Vyvoj.hw: profesionální elektronika* [online]. Praha: Robert Peška, 2017, 27.02.2017 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/pajeni-bez-olova-vyzaduje-kvalitnejsi-pajacky-pomohou-digitalni-stance.html>
- [7] Whisker. *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. San Francisco [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Whisker>
- [8] DOSEDLA, M. Trendy v oblasti pájecích past a vliv nanočástic. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav mikroelektroniky, 2016. 81 s., 9 s. příloh. Diplomová práce. Vedoucí práce: Ing. Jiří Starý, Ph.D.
- [9] KLAUZ, Milan. Jaký je rozdíl mezi Rework a Repair?. *DPS: Elektronika od A do Z* [online]. Liberec: Milan Klauz, 2018, 10.01.2018 [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.dps-az.cz/vyroba/novinky/id:49450/jaky-je-rozdil-mezi-rework-a-repair->
- [10] HUSÁK, Jiří. *Měření pájitelnosti metodou smáčecích vah při tenzi par.* Praha, 2015. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Ing. Karel Dušek, Ph.D.
- [11] ADÁMEK, Martin, Cyril VAŠKO a Miloš DRLÍK. *Pájení v elektrotechnické výrobě Kontrola jakosti spojů.* Brno. Laboratorní cvičení. Vysoké učení technické v Brně.
- [12] ABEL, Martin a Vladimír CIMBUREK. *Bezolovnaté pájení v legislativě i praxi.* Pardubice: ABE.TEC, 2005. ISBN 80-903-5970-1.
- [13] Teplotní profil SAC305. In: *Bbien* [online]. Dongguan: ŠEN-ČEN BBIEN TECHNOLOGY [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://cz.bbienolders.com/no-clean-solder-paste/lead-free-solder-paste/lead-free-solder-paste-sac305-cartridge.html>
- [14] JANSÁ, V. Teplotní stárnutí bezolovnatých nízkoteplotních spojů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2018. 61 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Martin Adámek, Ph.D..
- [15] KUČÍREK, M. Vliv integrálu teploty a času pájení na kvalitu pájeného spoje. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav elektrotechnologie, 2017. 67 s., 8 s. příloh. Diplomová práce. Vedoucí práce: Ing. Jiří Starý, Ph.D.

- [16] PEŠKA, Robert. Design desky plošných spojů: Základní pravidla návrhu DPS (1. část). *Vyvoj.hw: profesionální elektronika* [online]. Praha: Robert Peška, 2017, 24.04.2017 [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/design-desky-plosnych-spoju-zakladni-pravidla-navrhu-dps-1-cast.html>
- [17] Commonly Seen PCB Design Issues. *Pcbcart* [online]. Katy Houston: pcbcart [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.pcbcart.com/article/content/commonly-seen-PCB-design-issues.html>

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

Sn	cín
Ag	stříbro
Cu	měď
Bi	bismut
Pb	olovo
Cd	kadmium
ESD	electrostatic discharge; ochrana před elektrostatickými výboji
EDX	energy dispersive x-ray spectroscopy
SMD	surface mount device; součástka pro povrchovou montáž
SMT	surface mount technology; technologie pro povrchová montáž
DPS	deska plošného spoje
BGA	ball grid array
RoHS	nařízení evropské unie
EU	evropská unie
x	procentní chybovost